

CUADERNOS DE EDUCACIÓN

5

DANIEL GIL, JAIME CARRASCOSA
CARLES FURIÓ, JOAQUÍN MARTÍNEZ-TORREGROSA

LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS EN LA EDUCACIÓN SECUNDARIA

(Planteamientos didácticos generales
y ejemplos de aplicación en las
ciencias físico-químicas)

ICE - HORSORI

Universitat de Barcelona

Director: César Coll

Consejo de Redacción: Serafín Antúnez, Iñaki Echebarría, José M. Bermudo,
Francesc Segú.

Primera Edición: Abril 1991

Quedan rigurosamente prohibidas, sin la autorización de los titulares del «Copyright», bajo las sanciones establecidas en las leyes, la reproducción total o parcial de esta obra por cualquier medio o procedimiento, comprendidos la reprografía y el tratamiento informático y la distribución de ejemplares de ella mediante alquiler o préstamo públicos.

I.C.E. Universitat Barcelona. Gran Via, 585 (08007) Barcelona.
Editorial Horsori. Apart. 22.224 (08080) Barcelona.
© Daniel Gil, Jaime Carrascosa, Carles Furió, Joaquín M. Torregrosa.
© I.C.E. Universitat Barcelona - Editorial Horsori
Diseño: Clemente Mateo
Depósito Legal: B. 16.077-1991
I.S.B.N.: 84-85840-10-0
Impreso en España
Libergraf, S.A., Constitució, 19 - 08014 Barcelona

PRÓLOGO

Hay libros a los que conviene particularmente bien un prólogo: son los de autores noveles o relativamente desconocidos para el público al que se dirigen, los que se ocupan de temas densos y complejos, o aún los que están escritos de tal manera que hacen temer dificultades de comprensión. La existencia de un prólogo se justifica, en estos casos, porque cumple la función de presentar los autores y la obra a los lectores y también la de introducirlos en el tema, aunque muy a menudo, como es bien sabido, en realidad ambas funciones rara vez se cumplan debido a la muy generalizada y más bien sana tendencia de la mayoría de éstos a pasarlo por alto.

Hay libros, en cambio, que no necesitan presentación: los autores no son noveles ni desconocidos para el público al que se dirigen, se ocupan de temas que conectan fácilmente con los intereses y preocupaciones del lector potencial y, además, están escritos con un estilo directo y claro que facilita su comprensión. La función más habitual del prólogo consiste, en estos casos, en llamar la atención sobre algunas de las ideas y planteamientos expuestos en el libro o, más raramente, en formular un juicio crítico de las tesis presentadas y desarrolladas en el mismo. El prologuista actúa entonces de hecho como un lector con una serie de privilegios: tiene acceso al contenido del libro antes que los otros lectores, se le permite manifestar sus opiniones al respecto y, por si no fuera suficiente, se le ofrece la oportunidad de expresarlas por escrito anteponiéndolas al texto y condicionando de este modo su posible lectura e interpretación.

El libro que el lector tiene ahora en sus manos pertenece claramente a la segunda categoría y el que escribe estas líneas tiene plena conciencia de disfrutar de un privilegio. Los autores son ampliamente conocidos en el ámbito de la didáctica de las ciencias y de la formación de los profesores de ciencias; la actualidad, el interés y la pertinencia de su contenido están fuera de toda duda; el riesgo de que pase desapercibido entre los profesores de ciencia y otros profesionales de la educación es mínimo; su estilo es directo y sencillo, invi-

tando, casi obligando, a una lectura participativa y constructiva.

Puesto que ni los autores ni la obra necesitan las presentaciones típicas de un prólogo a la usanza habitual, utilizaré la ocasión que se me ofrece para expresar algunas reacciones que me ha provocado su lectura, una lectura ciertamente muy peculiar, realizada a partir de unas preocupaciones e intereses que no necesariamente han de coincidir con las preocupaciones e intereses de otros lectores, a los que aconsejaría que comiencen directamente por la lectura del libro dejando para el final, en el caso de que lo consideren oportuno, la tarea de confrontar sus propias conclusiones con los breves comentarios recogidos en estas líneas. Me limito de esta manera a seguir la recomendación formulada hacia el final del libro cuando se propone como actividad de cierre «Extraer las principales tesis didácticas que aparecen, explícita o implícitamente», en el mismo y «señalar (...) las posibles insuficiencias y cuestiones que exijan profundización».

La realización de esta actividad ha provocado en mi caso numerosas reflexiones entre las que comentaré sólo algunas. Ante todo, me ha llamado la atención el concepto de didáctica que subyace al libro, que se autodefine una y otra vez como una obra sobre «Didáctica de las Ciencias». Aunque no hay una toma de postura explícita sobre la naturaleza del conocimiento didáctico, su especificidad, los procedimientos adecuados para hacer avanzar la investigación y el conocimiento en este campo o sus interrelaciones con otras áreas o ámbitos de la investigación y de la práctica educativas, la minuciosa y detallada exposición de una propuesta concreta de «Didáctica de las Ciencias» para la educación secundaria contiene, implícitamente, numerosas indicaciones al respecto. Así, cuando los autores se cuestionan, y cuestionan al lector, sobre «¿qué han de saber y saber hacer los profesores de ciencias?», en la propia manera de formular la pregunta está presente, a mi juicio, lo que constituye uno de los rasgos esenciales del conocimiento didáctico: su orientación a la acción, su compromiso con la transformación de la práctica educativa, su vocación irrenunciable de trascender el análisis teórico y crítico de la actividad docente y formular propuestas *concretas y realizables* dirigidas a mejorarla, es decir, dirigidas a tratar de que cumpla con mayor eficacia las funciones que tiene encomendadas.

Soy consciente de que al subrayar esta orientación a la acción y a la *transformación positiva* de la actividad docente —irrealizable por lo demás sin un análisis teórico y crítico de la misma—, así como al señalar la búsqueda de la eficacia —¡palabra maldita como pocas entre amplios sectores del pensamiento educativo contemporáneo!— como uno de los motores de la investigación didáctica, se corre el riesgo de reforzar planteamientos tecnicistas ya superados. Sin embargo, creo también que hay que dejar de moverse por reacción y que, en

el momento actual, sería tal vez positivo preguntarse si no es ya posible, analizadas y criticadas una y otra vez las insuficiencias y perversidades de los enfoques tecnicistas en educación, recuperar la orientación a la transformación positiva de la actividad docente y, en consecuencia, reconocer la búsqueda de la eficacia —con todas las reformulaciones necesarias de este concepto— como un factor dinamizante y movilizador. Los avances en estos últimos años apuntan claramente, a mi juicio, en esta dirección. El libro que tenemos en las manos, por otra parte, es un ejemplo claro de cómo es posible y hasta qué punto es enriquecedor adoptar como punto de referencia esta orientación sin caer en absoluto en planteamientos tecnicistas definitiva y felizmente superados.

«¿Qué han de saber y saber hacer los profesores de ciencias?» Los autores sintetizan la respuesta a esta pregunta en un cuadro que incluye hasta ocho elementos y que utilizan para organizar todo el libro: conocer la materia a enseñar, conocer y cuestionar el pensamiento docente espontáneo, adquirir conocimientos sobre el aprendizaje de las ciencias, hacer una crítica fundamentada de la enseñanza habitual, saber preparar actividades, saber dirigir la actividad de los alumnos, saber evaluar y, por último, utilizar la investigación e innovación. Asimismo, se advierte que estos elementos de respuesta surgen como resultado, por una parte, de «concebir el aprendizaje como construcción de conocimientos con las características de una investigación científica» y, por otra, «de la necesidad de transformar el pensamiento espontáneo del profesor». Más allá de otras consideraciones, creo que los elementos apuntados, al igual que las opciones de las que surgen, se sitúan básicamente en tres dimensiones que configuran el espacio de referencia inmediato y el soporte del saber didáctico: la naturaleza y las características de la materia a enseñar, su estructura interna, sus coordenadas metodológicas, epistemológicas y conceptuales; los procesos de enseñanza y aprendizaje, es decir, los procesos implicados en la apropiación o asimilación por los alumnos de dicha materia y los procesos implicados en la ayuda a los alumnos para que lleven a cabo dicha apropiación o asimilación; y la práctica docente en la materia, es decir, la experiencia críticamente analizada.

Si se acepta esta reducción, probablemente esquemática pero por ello mismo tal vez aclaradora, el saber didáctico aparece como un saber integrador, como una formulación integrada, en términos de propuestas para la acción, de saberes de naturaleza y orígenes diversos. Más que los ingredientes en sí, lo que interesa subrayar es su carácter integrador. No puede ser de otra manera si se acepta la orientación a la transformación positiva de la realidad como uno de los motores del saber didáctico. La realidad de la enseñanza y el aprendizaje es una realidad compleja y para formular propuestas de acción dirigidas

a transformarla es necesario contemplar sus diferentes ingredientes, al menos los más importantes.

Dejando de lado las consideraciones institucionales y aun corporativas que a menudo tiñen el debate de las interrelaciones entre las diferentes áreas o ámbitos de las Ciencias de la Educación, este análisis conduce a postular la colaboración entre los especialistas de las materias a enseñar, los especialistas en el análisis de los procesos psicológicos y psicosociológicos subyacentes a la enseñanza y el aprendizaje y los especialistas en el análisis de la práctica educativa, o mejor aún, la integración del conocimiento de la materia, del conocimiento de los procesos de enseñanza y aprendizaje y del conocimiento de la práctica docente. Poco importa, desde una perspectiva epistemológica —aunque sin duda sea importante para los colectivos implicados—, quiénes son los responsables de la integración y dónde se lleve a cabo. Lo que importa es que la integración aparece como un requisito imprescindible, y no únicamente como algo deseable y conveniente, para la elaboración del saber didáctico.

Quizás sea ésta, entre otras, una de las razones por las que la lectura de este libro produce —al menos así ha sido en mi caso— una sensación de solidez, de robustez, de «trabajo redondo», independientemente de que se compartan o no todas y cada una de las propuestas e interpretaciones de los autores. Hay un manejo envidiable de la materia, fruto de una profunda comprensión del método científico y de la naturaleza del conocimiento de las Ciencias, que está en la base de la estrategia didáctica global presentada. Pero lo realmente admirable es que este manejo está totalmente integrado con una determinada concepción del aprendizaje y de la enseñanza y con una experiencia analizada y reflexionada —que configura por sí sola un espacio de conocimiento de valor incalculable— sobre la enseñanza de las ciencias y sobre la formación de los profesores de ciencias.

Hay, de este modo, un hilo conductor que proporciona una continuidad y una rara coherencia entre las propuestas relativas a cómo enseñar ciencias a los alumnos y alumnas de la Educación Secundaria, las propuestas relativas a cómo enseñar a los profesores de ciencias a enseñar mejor a sus alumnos y alumnas y la propia estructura expositiva del libro. El procedimiento que se propone para la enseñanza y el aprendizaje en el aula —empezar poniendo de manifiesto las concepciones de los alumnos sobre los temas estudiados, analizar críticamente lo que dice el sentido común y la experiencia cotidiana acerca de los mismos, realizar una serie de actividades cuidadosamente planificadas que permitan aproximarse a los contenidos mediante el tratamiento de situaciones problemáticas, etc.— tiene un claro paralelismo con el procedimiento propuesto para la formación de los profesores de ciencias y también con el procedimiento que habrá de se-

guir el lector para ir avanzando a través de las páginas del libro. No hay duda de que estamos, como quieren los autores, ante una obra de «Didáctica de las ciencias», pero también ante una magnífica ilustración de cómo una propuesta didáctica o tiene un reflejo claro en la manera de plantear y abordar la formación de los profesores o no es en realidad tal.

La idea que utilizan los autores como hilo conductor para integrar de forma coherente estos distintos planos tiene un nombre, «constructivismo», y es en apariencia relativamente sencilla. Sucede, sin embargo, que la explicación constructivista de la enseñanza y el aprendizaje es aún, hoy por hoy, relativamente imprecisa y, sobre todo, susceptible de concretarse de muy diversas maneras. Utilizando como punto de partida el conocido principio epistemológico de Bachelard según el cual «*toute connaissance est la réponse à une question*», los autores llevan a cabo una concreción de la tesis constructivista que implica el recurso sistemático a la utilización de problemas y de situaciones problemáticas como plataforma para construir el conocimiento. No se trata de entrar aquí en el análisis detallado de esta concreción, aunque sí que me gustaría señalar que es una concreción didáctica posible, entre otras muchas, de los principios constructivistas y que cuenta entre sus virtudes las de estar formulada en términos muy precisos —lo que hace relativamente fácil su puesta en práctica— y estar apoyada en una dilatada experiencia docente.

Desde una aceptación sin reservas de esta manera de entender la enseñanza y el aprendizaje, y desde una admiración por el rigor, el detalle y la coherencia de la concreción didáctica que de la misma se hace en el libro, sí me parece conveniente, en cambio, subrayar la idea de las limitaciones que todavía presenta el constructivismo como marco teórico explicativo general de los procesos de enseñanza y aprendizaje. Creo estar así en total sintonía con el enfoque adoptado por los autores cuando destacan las dificultades prácticas con que se enfrenta una propuesta didáctica radicalmente constructivista y, lejos de descalificarlas, las aceptan y valoran como tales: necesidad de mayor tiempo para cubrir los programas, riesgo de caer en una cierta «rigidez metodológica», posible inhibición o retraimiento de los alumnos ante una metodología que exige su participación y que requiere una intensa actividad mental por su parte, peligro de realizar aprendizajes relativamente inconexos, etc.

Me parece importante asumir estas dificultades prácticas porque, al igual que las limitaciones explicativas actuales del constructivismo, nos sitúan ante una serie de problemas, o de situaciones problemáticas, que son las que van a permitir avanzar al conocimiento didáctico. Un ejemplo bastará para ilustrar esta afirmación. En palabras de los propios autores, «trabajar con programas-guía —el eje de su pro-

puesta didáctica— no es una garantía para conseguir el entusiasmo de los alumnos, y las actividades pueden carecer, efectivamente, de interés o el profesor puede no llegar a transmitir su pasión por aquello que se está estudiando». Lo mismo cabe decir respecto a la formación de los profesores, aunque en este caso los autores parecen más optimistas y no señalan las posibles dificultades. No hay duda, por mi parte, de que «una “reflexión descondicionada”, es decir, un trabajo colectivo con un mínimo de profundidad en torno a los problemas planteados, puede conducir a análisis y propuestas coincidentes en gran medida con los resultados de la investigación educativa». Pero tampoco tengo dudas—y cuando se tiene experiencia en tareas de formación es difícil no compartir esta convicción— de que la “reflexión descondicionada” colectiva puede también *no* conducir a esta coincidencia; puede incluso no conducir a ninguna parte interesante, porque los profesores en formación corren el riesgo, al igual que los alumnos de secundaria, de «desengancharse» con relativa facilidad de las actividades propuestas.

Lo que indica este ejemplo a mi juicio es que estamos aún bastante lejos de conocer con un mínimo de precisión los procesos psicológicos implicados en el aprendizaje de un contenido determinado y los mecanismos mediante los cuales un profesor, o un formador, consigue que sus alumnos se impliquen activamente en la construcción de significados o representaciones del mismo lo más ajustadas posible al conocimiento que nos brindan de él las disciplinas científicas correspondientes. Lo que indica este ejemplo es que es necesario perseverar en el esfuerzo de integración del conocimiento de la materia, del conocimiento de los procesos de enseñanza y aprendizaje y del conocimiento de la práctica docente para seguir avanzando en la elaboración del saber didáctico. Es ahí, en ese esfuerzo de integración, donde pueden encontrarse las aportaciones de las diferentes áreas y ámbitos de las Ciencias de la Educación y donde podemos plantearnos colectivamente problemas y situaciones problemáticas capaces de generar nuevos conocimientos.

César Coll
Marzo, 1991

PRESENTACIÓN

Este es un libro de Didáctica de las Ciencias escrito por profesores de Física y Química con una larga experiencia docente, muy en particular en los niveles de Enseñanza Secundaria (entendiendo por tal la que se extiende de los 12 a los 18 años). Queremos resaltar con ello que nuestro interés por la investigación didáctica y la formación del profesorado tiene como origen los problemas de enseñanza/aprendizaje a que hemos debido hacer frente en dichos niveles. Y queremos también dejar patente que, aunque consideramos la Didáctica de las Ciencias como un cuerpo homogéneo de conocimientos, nuestra formación específica de físicos y químicos nos lleva a centrar los ejemplos, propuestas, etc, en las Ciencias Físico-químicas (tal como se indica ya en el subtítulo de este libro).

A lo largo de un dilatado periodo de docencia nos hemos visto obligados a cuestionar no pocos de nuestros comportamientos y creencias en un proceso de aprendizaje complejo que ha incluido modestas pero gratificantes adquisiciones, exaltantes saltos cualitativos y también frustrantes callejones sin salida. En este aprendizaje somos deudores de numerosas influencias fecundantes: en primer lugar, la que supone el trabajo colectivo en el seno de los numerosos grupos de que hemos formado parte o con los que hemos colaborado; en segundo lugar, la que proviene de la abundante literatura a que hemos tenido acceso. Tenemos conciencia, sin embargo, que de este formidable potencial que constituye el cuerpo de conocimientos acumulados, sólo hemos podido aprovechar aquello que conectaba con los problemas que nos habíamos planteado. Y a la misma convicción hemos llegado en lo que se refiere al aprendizaje de nuestros alumnos o de los profesores en cuya formación hemos colaborado: sólo aquellas de nuestras actuaciones que respondían a una problemática significativa para los participantes fueron valoradas como positivas y tuvieron alguna eficacia. Dicho de otro modo, nuestra experiencia parece estar plenamente de acuerdo con las palabras de Bachelard *toute connaissance est la réponse a une question* (o, dicho en una versión

formalmente libre, pero fiel al texto de Bachelard, *todo conocimiento tiene su origen en el tratamiento de problemas*).

Consideramos por ello que, tan importante o más que la presentación ordenada de un cuerpo de conocimientos, es plantear los problemas a cuyo estudio están asociados dichos conocimientos. Conectar explícitamente con la problemática de, por ejemplo, los asistentes a un curso —ampliándola si necesario— constituye, en nuestra opinión, un requisito sine qua non para un trabajo eficaz. Más aún: favorecer con una orientación adecuada el tratamiento colectivo de dichos problemas conduce, muy a menudo, a excelentes aproximaciones a los conocimientos elaborados por la comunidad científica y, en cualquier caso, prepara eficazmente para la mejor comprensión de los mismos.

Esta es la orientación que hemos intentado dar a nuestras clases (tanto en la Enseñanza Secundaria como en los cursos de Formación del Profesorado) y también, por razones de coherencia, a este mismo libro; una orientación que expondremos y fundamentaremos a lo largo de esta síntesis de nuestros planteamientos sobre la Didáctica de las Ciencias. Trataremos por ello de sacar a la luz los problemas que los profesores y profesoras solemos plantearnos y de favorecer una reflexión que contribuya a la construcción de conocimientos, génesis de nuevos problemas, etc. Las tesis y propuestas que presentaremos aparecerán así como materiales con los que los lectores podrán cotejar, a posteriori, sus propias producciones. Ello no sólo redundará en una mejor comprensión de dichas tesis y propuestas —por responder a problemas que los lectores han podido plantearse— sino que hará también posible una lectura crítica de las mismas, lejos de aceptaciones simplistas. Incluimos por ello numerosas referencias a la abundante literatura existente: tanto para dejar patente nuestras fuentes como para facilitar el recurso a las aportaciones de otros autores con orientaciones y puntos de vista diversos. Intentamos así, repetimos, ser coherentes con una concepción de la formación del profesorado, que puede sintetizarse en las siguientes tesis:

1. Los profesores tenemos ideas, comportamientos, actitudes... sobre la enseñanza/aprendizaje de las ciencias con los que es preciso conectar explícitamente en cualquier actividad de formación.
2. Un buen número de nuestras creencias, comportamientos, etc, sobre la enseñanza de las ciencias revelan una aceptación acrítica de lo que podríamos denominar una docencia «de sentido común», de «lo que siempre se ha hecho», que se convierte así en obstáculo para una renovación de la enseñanza.
3. Sin embargo, si se facilita un trabajo colectivo de una cierta profundidad en torno a problemas de interés, los profesores

podemos cuestionar las concepciones y prácticas asumidas acríticamente y construir conocimientos que son coherentes con los que las publicaciones especializadas recogen como fruto de la investigación e innovación didáctica.

Nuestra postura es, pues, a la vez, autocrítica (reconocimiento de la insuficiencia, en general, de nuestra formación profesional) y optimista (reconocimiento de la capacidad de los colectivos docentes para elaborar conocimientos que abran nuevas perspectivas).

Esta Didáctica de las Ciencias se sitúa en esa doble óptica e intentará favorecer un proceso creativo de construcción de conocimientos. Los lectores podrán valorar en qué medida los materiales aquí presentados contribuyen a este, para nosotros, objetivo fundamental.

De acuerdo con las orientaciones expuestas, invitaremos a los lectores, en primer lugar, a plantearse con nosotros *cuáles son los conocimientos —en su sentido más amplio de saber y saber hacer— que precisamos los profesores de Ciencias para favorecer un aprendizaje efectivo de los alumnos, es decir, un aprendizaje que se traduzca en adquisiciones significativas y en interés por la materia*. A partir de aquí abordaremos los aspectos de la enseñanza/aprendizaje de las ciencias que los profesores destacamos como fundamentales (desde las prácticas de laboratorio a la evaluación) así como otros con frecuencia olvidados, pero cuya incidencia en el proceso de aprendizaje es también fundamental (clima del aula y del centro, etc). Por último nos ocuparemos con cierto detenimiento del curriculum de ciencias para la Enseñanza Secundaria Obligatoria (12 a 16 años).

Podría temerse que un hilo conductor como el elegido —basado en la problemática que nuestra práctica docente genera— conduzca a tratamientos y adquisiciones dispersas, carentes de fundamentación teórica y de coherencia global. Existe, sin duda, ese peligro; pero esperamos mostrar que, muy al contrario, el camino elegido permite la (re)construcción de un cuerpo de conocimientos coherente que posibilitará una enseñanza de calidad, y ello a partir del propio trabajo de los lectores y no como simple transmisión de las propuestas y puntos de vista de los autores de esta Didáctica. No esconderemos, sin embargo, nuestro posicionamiento teórico, nuestra propia concepción de la enseñanza/aprendizaje de las ciencias, que los lectores han de poder analizar críticamente como *una* de las posibles orientaciones y que iremos desarrollando a medida que se aborden los distintos problemas.

El índice de este volumen —que se centrará, repetimos, en la Educación Secundaria Obligatoria— queda, pues, configurado del siguiente modo:

ÍNDICE

PRÓLOGO.....	5
PRESENTACIÓN.....	11
INTRODUCCIÓN	
¿Que hemos de conocer los profesores de ciencias?	19

PRIMERA PARTE

ALGUNOS PROBLEMAS FUNDAMENTALES DEL APRENDIZAJE DE LAS CIENCIAS

CAPÍTULO I	
Las prácticas de laboratorio como interés básico de los alumnos y profesores de ciencias	33
CAPÍTULO II	
La resolución de problemas: causas del fracaso generalizado de los alumnos y propuestas alternativas.....	41
CAPÍTULO III	
El aprendizaje de conocimientos teóricos	55

SEGUNDA PARTE

OTROS ASPECTOS ESENCIALES —PERO HABITUALMENTE OLVIDADOS— EN EL PLANTEAMIENTO DE LA ENSEÑANZA/ APRENDIZAJE DE LAS CIENCIAS

CAPÍTULO IV	
Las relaciones enseñanza de las ciencias/medio: ¿Desviación o profundización en el conocimiento científico?.....	75

CAPÍTULO V	
El clima del aula y del Centro en el aprendizaje de las ciencias	79
CAPÍTULO VI	
Actitudes hacia la ciencia y su aprendizaje.....	85

TERCERA PARTE

LA EVALUACIÓN EN LA ENSEÑANZA/ APRENDIZAJE DE LAS CIENCIAS

CAPÍTULO VII.....	95
-------------------	----

CUARTA PARTE

DISEÑO DE UN CURRÍCULUM DE CIENCIAS PARA LA EDUCACIÓN SECUNDARIA OBLIGATORIA

CAPÍTULO VIII	
Algunas opciones básicas en el diseño de un currículum de ciencias.....	109
CAPÍTULO IX	
El currículum de ciencias en la Educación Secundaria Obligatoria.....	119
CAPÍTULO X	
Diseño de unidades didácticas concretas: los programas-guía de actividades.....	149

RECAPITULACIÓN

Algunas conclusiones y perspectivas	159
---	-----

ANEXOS

Anexo A	
Un trabajo práctico como investigación.....	161

Anexo B	
Un ejemplo de resolución de problemas como investigación.	167
Anexo C	
Ejemplos de concepciones alternativas.....	173
Anexo D	
Bloques Temáticos del Diseño Curricular Base	189
Anexo E	
Ejemplo de programa-guía de actividades: Trabajo y Energía	191
Anexo F	
Ejemplo de programa-guía de actividades: La química del carbono: un nuevo nivel de organización de la materia	209
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	217

INTRODUCCIÓN

¿QUÉ HEMOS DE CONOCER LOS PROFESORES DE CIENCIAS?

Como ya señalábamos en la presentación, un primer requisito para que una acción formativa pueda ser eficaz es que dicha acción conecte explícitamente con la problemática que interese o preocupe a quienes va dirigida. Por ello queremos iniciar esta *Didáctica de las Ciencias* sacando a la luz las necesidades formativas que los profesores y profesoras de ciencias podemos sentir y tomar la reflexión sobre dichas necesidades como punto de partida. Proponemos así a los lectores que, antes de proseguir, den su propia respuesta a la siguiente cuestión fundamental:

¿Qué deberíamos conocer —en su sentido más amplio de saber i saber hacer— los profesores de ciencias para poder impartir una docencia de calidad?

Conviene realizar un esfuerzo para no referirse únicamente a lo más obvio y recoger todo lo que parezca fundamental, aunque sin descender a detalles pormenorizados que podrían hacernos perder una perspectiva global.

Sobre la importancia de una reflexión como la que plantea la cuestión anterior, baste señalar que en 1987 la National Association for Research in Science Teaching (Washington D.C) organizó un simposio para establecer, a la luz de la investigación educativa, *los conocimientos y destrezas que necesitan poseer los profesores de ciencias*

(Hewson y Hewson 1988). Y aunque la preocupación por el profesorado como uno de los factores esenciales del proceso de enseñanza/aprendizaje es antigua (Brincones et al 1986), hasta recientemente los estudios se centraban en *las características* del buen profesor o en las «diferencias entre buenos y malos profesores» (Ausubel 1978, cap. 14), mientras que ahora la cuestión se plantea en términos de cuáles son los *conocimientos* que los profesores necesitamos *adquirir*. El matiz es sin duda importante y supone una superación de concepciones esencialistas («se es», «se nace», buen profesor) que apuntaban a ineficaces políticas de selección más que a procesos de formación. Debemos congratularnos, pues, de dicha evolución y plantearnos cuáles son los conocimientos que precisamos adquirir para desarrollar adecuadamente nuestra actividad docente.

¿Cuáles son las respuestas que el profesorado de ciencias da, en general, a la cuestión planteada? ¿En qué medida dichas respuestas son coherentes con lo que la investigación didáctica viene mostrando? Se trata, por una parte, de conocer hasta qué punto los profesores y profesoras somos conscientes de las exigencias de una formación adecuada, pero, sobre todo, pretendemos favorecer la construcción de una concepción preliminar de lo que supone enseñar ciencias, que pueda orientar el trabajo didáctico que propone este libro.

Digamos de entrada que las respuestas obtenidas son muy diferentes si la pregunta se plantea a profesores aislados, en forma de cuestionario, o se propone a grupos de profesores, para que la aborden colectivamente como punto de partida para un trabajo de formación. En el primer caso, las respuestas son, en general, bastante pobres y no incluyen muchos de los conocimientos que la investigación destaca como fundamentales. Ello puede interpretarse como el resultado de la escasa familiarización del profesorado con las aportaciones de la investigación e innovación didáctica y, más aún, como expresión de una imagen espontánea de la enseñanza, concebida como algo esencialmente simple, para lo que basta con un buen conocimiento de la materia, algo de práctica y, a lo sumo, algunos complementos psicopedagógicos (Furió y Gil 1989; Dumas-Carré, Furió y Garrett 1990). Se puede llegar así a la conclusión de que los profesores de ciencias, no sólo carecemos de una formación adecuada, sino que ni siquiera somos conscientes de las insuficiencias.

Sin embargo, el resultado es muy diferente cuando la cuestión es abordada por equipos de profesores en la perspectiva de un trabajo de formación. En ese caso, la producción de los grupos recoge, en general, un buen número de los conocimientos que la investigación ha señalado como necesarios, alejándose así de visiones simplistas de la enseñanza de las ciencias. Es importante señalar esta diferencia porque muestra hasta qué punto las carencias y los errores que eviden-

cion nuestra formación (Carrascosa, Furió y Gil 1985) no son el resultado de incapacidades esenciales, sino que basta con proporcionar a los profesores la ocasión de un trabajo de reflexión y profundización para que sus producciones se aproximen a los resultados de la investigación didáctica.

A continuación, nos referiremos a las principales aportaciones de los grupos de profesores a la cuestión planteada. Se trata con ello de favorecer la formación de una *concepción preliminar de la tarea*: en efecto, la cuestión ¿Qué hemos de saber y saber hacer? conduce a ¿Qué deberíamos hacer? o, dicho de una forma más abierta, ¿Qué podría hacerse —además (o en vez) de lo que habitualmente se hace— para favorecer un mejor aprendizaje de las ciencias?

Las distintas aportaciones pueden agruparse, en general, en los ocho capítulos que recoge el *cuadro 1*, elaborado por nosotros a partir de un análisis de la investigación sobre didáctica de las ciencias realizada a lo largo de estas dos últimas décadas (Gil 1990 y 1991). Conviene destacar esta coherencia básica de las propuestas de los equipos de profesores con las que se derivan de la investigación. El debate sobre las distintas aportaciones permite, por otra parte, salir al paso de visiones conductistas que contemplan cada «saber» o «saber hacer» como algo que puede adquirirse con un entrenamiento específico proporcionado desde fuera e insistir en el papel central que en el proceso de adquisición de los conocimientos —y, en definitiva, en toda la actividad docente— ha de jugar la actividad innovadora e investigadora del profesorado (Gimeno 1990) tal como intenta reflejar el ya mencionado *cuadro 1*.

Particular importancia en este debate tiene clarificar la cuestión, que a menudo se plantea, de si tiene sentido exigir a un profesor o profesora tantos conocimientos como los que sintetiza el *cuadro 1*. Por supuesto que ello es imposible... pero es la propia cuestión la que carece de sentido. En efecto, cualquier estudio sobre metodología y epistemología de la ciencia, revela unas exigencias para el trabajo científico al menos tan amplias como las del trabajo docente; pero a ningún científico se le exige que posea el conjunto de saberes y destrezas necesarios para el desarrollo científico: se tiene muy claro que se trata de una tarea colectiva. Del mismo modo, el trabajo docente tampoco es, o mejor dicho, no debería ser, una tarea aislada, y ningún profesor/a ha de sentirse desbordado por un conjunto de saberes que, con toda seguridad, sobrepasan las posibilidades de un ser humano. Lo esencial es que pueda darse un trabajo colectivo en todo el proceso de enseñanza/aprendizaje: desde la preparación de las clases a la evaluación. Con este punto de vista, la complejidad de la actividad docente deja de verse como un obstáculo a la eficacia y un factor de desánimo, para convertirse en una invitación a romper con la inercia

de una enseñanza monótona y sin perspectivas y aprovechar la enorme creatividad potencial de la enseñanza. Se trata, en definitiva, de orientar dicha tarea docente como un trabajo colectivo de innovación, investigación y formación permanente.

Estas son, sin duda, cuestiones capitales en el momento de plantearnos qué hacer en las clases, es decir, en el momento de clarificar la orientación de nuestro trabajo didáctico. A continuación, trataremos con algún detenimiento los dos primeros bloques de conocimientos del *cuadro 1*: el relativo a «conocer la materia a enseñar» y el que se refiere a «conocer y cuestionar el pensamiento docente espontáneo». Ello permitirá precisar mejor el hilo conductor de esta Didáctica de las Ciencias.

1. CONOCER LA MATERIA A ENSEÑAR

Si hay algo en lo que se muestre un consenso absolutamente general entre el profesorado, es, sin duda, en la importancia concedida a un buen conocimiento de la materia a enseñar. Ello podría parecer obvio, hasta el punto de hacer innecesario el tratamiento de dicha cuestión en un planteamiento de la Didáctica de las Ciencias como el que intentamos en este libro, necesariamente breve. De hecho, la tónica general de las actividades de formación permanente en nuestro país es dejar de lado lo que se refiere a contenidos científicos, admitiendo así implícitamente que es suficiente la preparación proporcionada en este aspecto por la formación inicial. Sin embargo, resulta cada vez más evidente que, no sólo esa preparación es, a menudo, insuficiente (Zalamea y París 1989), sino que —como han mostrado Tobin y Espinet (1989) a partir de un trabajo de tutoría y asesoramiento a profesores de ciencias— *una falta de conocimientos científicos constituye la principal dificultad para que los profesores afectados se impliquen en actividades innovadoras*. Es preciso, además, llamar la atención sobre el hecho de que algo tan aparentemente claro y homogéneo como «conocer el contenido de la asignatura» implica conocimientos profesionales muy diversos (Bromme 1988; Coll 1987). Consideramos, pues, conveniente realizar la siguiente actividad:

Diversos estudios han mostrado la importancia decisiva de un conocimiento profundo de la materia a enseñar (hasta el punto de que su ausencia constituye, quizás, el obstáculo fundamental para la innovación). Conviene, pues, clarificar mínimamente cuáles entendemos que han de ser los conocimientos de la materia que como docentes precisamos.

Las aportaciones hechas en respuesta a esta cuestión por distintos grupos de trabajo suelen coincidir básicamente en que un buen conocimiento de la materia supone, para los profesores de ciencias:

- (a) Conocer la historia de las ciencias, es decir, conocer los problemas que originaron la construcción de los conocimientos científicos (Otero 1985 y 1989), cómo llegaron a articularse en cuerpos coherentes, cómo evolucionaron, cuáles fueron las dificultades (Saltiel y Viennot 1985)...
- (b) Conocer las orientaciones metodológicas empleadas en la construcción de los conocimientos, es decir, la forma en que los científicos abordan los problemas, las características más notables de su actividad (Gil 1986)...
- (c) Conocer las interacciones Ciencia/Técnica/Sociedad asociadas a dicha construcción, sin ignorar el carácter a menudo dramático del papel social de las ciencias, la necesidad de la toma de decisiones (Aikenhead 1985; Solbes y Vilches 1989; Jiménez y Otero 1990)...
- (d) Tener algún conocimiento de los desarrollos científicos recientes y sus perspectivas para poder transmitir una visión dinámica, no cerrada de la ciencia...
- (e) Saber seleccionar contenidos adecuados que proporcionen una visión actual de la ciencia y sean asequibles a los alumnos y susceptibles de interesarles (Piaget 1969; Hewson y Hewson 1988)...

Como señala Linn (1987), este conocimiento profundo de la materia es central para una enseñanza eficaz y no puede adquirirse, obviamente, en el período siempre breve de una formación inicial (y mucho menos con la orientación actual de la misma). En definitiva, la atención a un buen dominio de la materia aparece *también desde un punto de vista didáctico* como algo fundamental. Los mismos alumnos son extraordinariamente sensibles a ese dominio de la materia por el profesorado, considerándola a justo título como un requisito esencial de su propio aprendizaje (Carrascosa et al 1990).

2. CUESTIONAR LAS IDEAS DE SENTIDO COMÚN SOBRE LA ENSEÑANZA Y EL APRENDIZAJE DE LAS CIENCIAS

De los grandes capítulos de conocimientos que los profesores de ciencias necesitamos, reflejo de la complejidad esencial de la actividad docente, solemos referirnos con detalle y pertinencia —como hemos visto en el apartado anterior— al conocimiento de la materia. Y son igualmente pertinentes (si se proporciona al profesorado el tiempo y el marco adecuados) las referencias a otros capítulos como:

- Adquirir conocimientos teóricos sobre la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias.
- Poder realizar una crítica fundamentada de la enseñanza habitual.
- Saber preparar las actividades de aprendizaje.
- Saber dirigir la actividad de los alumnos.
- Saber evaluar el proceso de enseñanza/aprendizaje.
- Poder implicarse en tareas de innovación e investigación.

Por el contrario son siempre escasas las referencias a la necesidad de *conocer y cuestionar el pensamiento docente espontáneo*. Vale la pena destacar esto porque si la falta de dominio en los conocimientos científicos aparece, en el estudio realizado por Tobin y Espinet (1989) como un primer y grave impedimento para una actividad docente innovadora y creativa, dicho estudio parece mostrar que la segunda dificultad mayor procede de aquello que los profesores ya sabemos (a menudo sin saber que lo sabemos), de lo que constituye el «pensamiento docente de sentido común». En efecto, comienza hoy a comprenderse (Gené y Gil 1987; Shuell 1987; Hewson y Hewson 1988) que los profesores tienen ideas, actitudes y comportamientos sobre la enseñanza, debidos a una larga formación «ambiental» durante el periodo en que fueron alumnos. La influencia de esta formación incidental es enorme porque responde a experiencias reiteradas y se adquiere de forma no reflexiva como algo natural, obvio, «de sentido común», escapando así a la crítica y convirtiéndose en un verdadero obstáculo. Prueba de ello es la práctica ausencia de referencias a este aspecto, incluso entre los grupos de profesores más productivos. Sin embargo, basta que la cuestión se plantee explícitamente para que se produzca una casi inmediata toma de conciencia de la importancia que este aspecto tiene en nuestra docencia y se prodiguen los ejemplos de ideas de sentido común que pueden estar bloqueando nuestra capacidad de renovación de la enseñanza. Plantearemos, pues, aquí, esa misma cuestión:

Enumerar, a título de hipótesis, posibles preconcepciones del profesorado de ciencias sobre cualquier aspecto de la enseñanza/aprendizaje (tanto de las ciencias como en general) que convenga sacar a la luz y analizar con vistas a un replanteamiento de la actividad docente.

Las aportaciones que los grupos de profesoras y profesores hacen en respuesta a la cuestión anterior son numerosas y, una vez más, se corresponden con problemas clave de la enseñanza/aprendizaje de las ciencias ampliamente recogidos en la literatura especializada. En el *cuadro 2* hemos intentado recoger algunos ejemplos de aspectos a cuestionar en el pensamiento y comportamiento docente espontáneo del profesorado de ciencias. La relevancia de los mismos viene respaldada por la amplia literatura existente en torno a dichos problemas, como intentaremos mostrar a continuación con una breve selección bibliográfica sobre las ideas, comportamientos y actitudes docentes de sentido común:

- (a) La visión simplista de lo que es la ciencia y el trabajo científico (Ausubel 1978, Gil 1983 y 1986, Hodson 1985, Schibbecci 1986, Tobin 1986, Millar y Driver 1987, Solbes y Vilches 1989). Cuestionar en particular la forma como se enfocan los problemas (Gil, Mtnez-Torregrosa y Senent 1988; Gil, Dumas-Carré, Caillot, Mtnez-Torregrosa y Ramirez 1989), los trabajos prácticos (Gil y Payá 1988) y la introducción de conceptos (Viennot 1976; Driver 1986; Gil y Carrascosa 1990...).
- (b) La reducción habitual del aprendizaje de las ciencias a ciertos conocimientos y (a lo sumo) algunas destrezas, olvidando aspectos históricos, sociales... (Krasilchik 1979, Gil 1985, Aikenhead 1985, Hodson 1987, Solbes y Vilches 1989; Jiménez y Otero 1990...). A este respecto es esencial cuestionar la «obligación de cubrir el programa» (en general enciclopédico), lo que se convierte en obstáculo para profundizar debidamente en los temas (Piaget 1969).
- (c) El carácter «natural» del fracaso generalizado de los alumnos y alumnas en las materias científicas y las expectativas negativas que se derivan: cuestionar el determinismo biológico (alumnos «listos» y «torpes») y el sociológico (no se puede hacer nada con alumnos «marcados» por medios culturalmente desfavorecidos). Ser consciente, en particular, de que se tiene una actitud distinta hacia los alumnos y hacia

las alumnas por lo que respecta a la «capacidad» para las ciencias (Spears 1984). Es preciso a este respecto poner en duda la supuesta objetividad de las evaluaciones, así como su uso casi exclusivo para juzgar a los alumnos (Hoyat 1962).

- (d) La atribución de las actitudes negativas hacia la ciencia y su aprendizaje a causas externas (sociales, etc), ignorando el papel que en ello juega el tipo de enseñanza, actitud y expectativas del profesorado hacia los alumnos, etc. (Rivas 1986; Simpson y Oliver 1990).
- (e) El autoritarismo (explícito o latente) de la organización escolar y, en el polo opuesto, el simple *laissez-faire* (Ausubel 1978).
- (f) El clima generalizado de frustración asociado a la actividad docente ignorando las satisfacciones potenciales que esta actividad comporta como tarea abierta y creativa (Gil 1985).
- (g) La idea de que enseñar es fácil, cuestión de personalidad, de sentido común o de encontrar la receta adecuada. Tomar conciencia de la necesidad de un trabajo colectivo y de una concepción teórica que articule los planteamientos didácticos (Barandiarán 1988): la Didáctica de las Ciencias existe ya como campo de investigación y docencia en rápido desarrollo (Aliberas, Gutiérrez e Izquierdo 1989; Astolfi y Develay 1989; Cañal y Porlan 1988; Dibar 1990; Fdez Uría 1979; Furió y Gil 1989; Gutiérrez 1987; Lucas 1986; Moreira y Novak 1988; Serrano 1987; Shayer y Adez 1984; Tiberghien 1985; Viennot 1989...). Ser consciente, en particular, de la necesidad de un buen conocimiento de cómo se aprende (Resnick 1983; Novak y Gowin 1989).

3 LA FORMACIÓN DEL PROFESORADO Y LA ACTIVIDAD DOCENTE COMO CAMBIO DIDÁCTICO

Podemos ahora sintetizar el trabajo realizado hasta aquí: por una parte hemos visto cómo las profesoras y profesores de ciencias tenemos toda una serie de ideas, comportamientos y actitudes en torno a los problemas de enseñanza/aprendizaje que pueden constituir obstáculos para una actividad docente innovadora, en la medida misma en que se trata de concepciones espontáneas, aceptadas acríticamente

como parte de una docencia de sentido común. Pero hemos visto también ejemplos de cómo una «reflexión descondicionada», es decir, un trabajo colectivo con un mínimo de profundidad en torno a los problemas planteados, puede conducir a análisis y propuestas coincidentes en gran medida con los resultados de la investigación educativa.

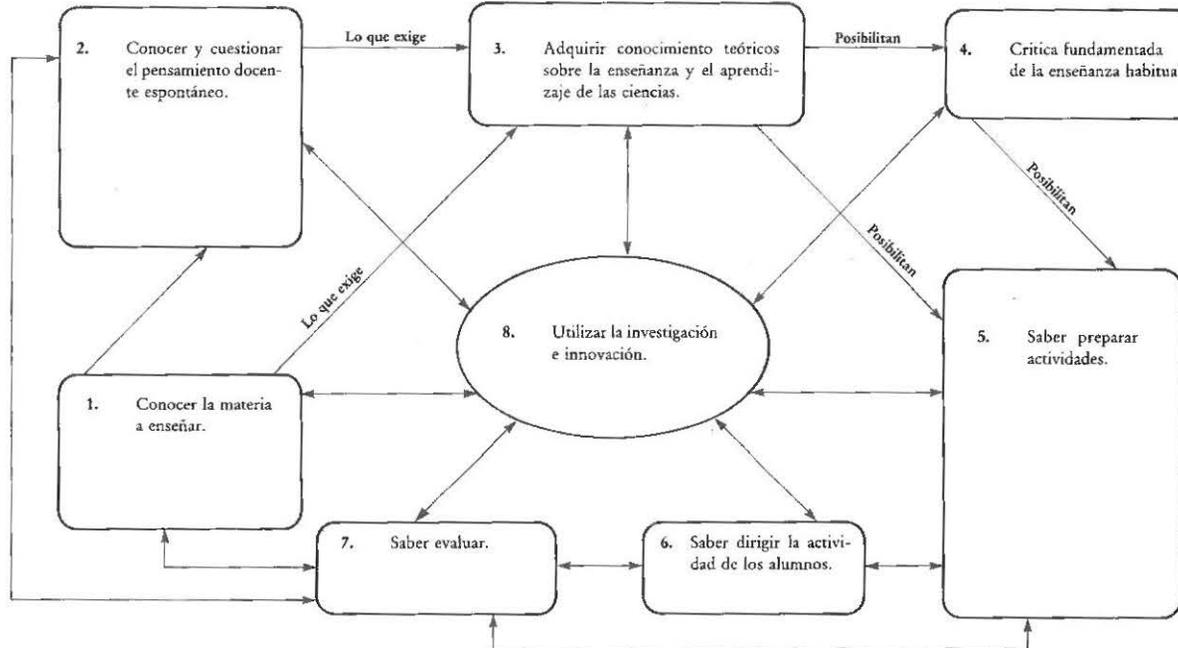
Nuestra hipótesis básica es precisamente que las deficiencias en nuestra preparación docente no constituyen ningún obstáculo insalvable y que los distintos problemas pueden ser abordados y resueltos por equipos docentes en un proceso creativo y satisfactorio. Desde ese punto de vista, insistimos, no consideramos necesario, ni conveniente, transmitir propuestas didácticas, presentadas como productos acabados, sino que intentaremos favorecer un trabajo de *cambio didáctico* que conduzca a los lectores, a partir de sus propias concepciones, a ampliar sus recursos y modificar sus perspectivas.

El hilo conductor para ese trabajo de renovación didáctica ha de ser, en nuestra opinión, la problemática que genera la práctica y las propias concepciones espontáneas. El esfuerzo para contemplar esas concepciones espontáneas como hipótesis de trabajo y no como evidencias incuestionables, permitirá un tratamiento de los problemas abierto a nuevas perspectivas, haciendo ver la necesidad de conectar los estudios puntuales con el cuerpo de conocimientos elaborado por la comunidad científica en el campo de la didáctica de las ciencias y, en definitiva, transformando la actividad docente en un trabajo creativo de investigación e innovación. Esa es, tal como señalábamos en la presentación, nuestra opción: detectar los problemas que como profesores nos preocupan, pasar a tratar dichos problemas —con la voluntad explícita de no quedar prisioneros de ninguna «evidencia», de ninguna práctica «obvia»— e ir (re)construyendo así un cuerpo de conocimientos que posibilite una enseñanza de calidad.

Cuadro 1

QUE HAN DE SABER Y SABER HACER LOS PROFESORES DE CIENCIAS

Propuesta basada, por una parte, en la idea de aprendizaje como construcción de conocimientos con las características de una investigación científica y, por otra, en la necesidad de transformar el pensamiento espontáneo del profesor



Cuadro 2

2. Conocer y cuestionar el "pensamiento docente de sentido común".
2.0. Conocer la existencia de un pensamiento espontáneo de lo que es enseñar Ciencias -fruto de una impregnación ambiental que hace difícil su transformación- y analizarlo críticamente.
a título de ejemplo:
2.1. Cuestionar la visión simplista que el profesorado de ciencias tiene y transmite de lo que es la ciencia y el trabajo científico. Cuestionar en particular la forma en que se enfocan los problemas, los trabajos prácticos y la introducción de conceptos.
2.2. Cuestionar la reducción habitual del aprendizaje de las ciencias a ciertos conocimientos y destrezas olvidando aspectos históricos, sociales... A este propósito es esencial cuestionar la "obligación de cubrir el programa"(en general enciclopédico) lo que se aduce -junto con la "falta de material", etc- como obstáculo para profundizar debidamente en los temas o prestar suficiente atención a cuestiones como los trabajos prácticos, las relaciones ciencia/sociedad, etc...
2.3. Cuestionar el carácter "natural" del fracaso generalizado de los alumnos y adquirir (y transmitir) expectativas positivas. Cuestionar, en particular, el determinismo biológico (alumnos "listos" y "torpes") y el sociológico (no se puede hacer nada con alumnos "marcados" por medios culturalmente desfavorecidos) Ser consciente de que se tiene una actitud distinta hacia los alumnos y hacia las alumnas por lo que respecta a la "capacidad" para hacer ciencia. Es preciso a este respecto cuestionar la supuesta objetividad de las evaluaciones, así como su uso casi exclusivo para juzgar a los alumnos.
2.4. Ser consciente del grave problema de las actitudes negativas hacia la ciencia y su aprendizaje y conocer que su origen está muy relacionado con el tipo de enseñanza, actitud y expectativas del profesor hacia los alumnos, etc..
2.5. Cuestionar el clima generalizado de frustración asociado a la actividad docente y, sin ignorar los problemas, saber apreciar las satisfacciones potenciales que esta actividad comporta como tarea abierta y creativa. Cuestionar igualmente la idea opuesta de una enseñanza "capaz de cambiar el mundo".
2.6. Cuestionar la idea de que enseñar es fácil, cuestión de personalidad, de sentido común o de encontrar la receta adecuada. Tomar conciencia de la necesidad de un trabajo colectivo y de una concepción teórica que articule los planteamientos didácticos. Ser consciente, en particular, de la necesidad de un buen conocimiento de cómo se aprende.
2.7. Cuestionar el autoritarismo (explícito o latente) de la organización escolar y, en el polo opuesto, el simple laissez-faire.
etc, etc, etc,...

PRIMERA PARTE

ALGUNOS PROBLEMAS FUNDAMENTALES DEL APRENDIZAJE DE LAS CIENCIAS

Incluimos en esta primera parte el tratamiento de tres aspectos sobre cuyo carácter prioritario en el planteamiento del aprendizaje de las ciencias existe un amplio consenso: nos referimos a la introducción y manejo de conceptos, a la resolución de problemas y a las prácticas de laboratorio. Es a través de los mismos que el profesorado transmite la visión de lo que es la ciencia y, con frecuencia —por incorrecto que ello pueda parecer— son los únicos a los que concedemos verdadera importancia en la planificación de la enseñanza.

Como se trata de tres aspectos muy relacionados entre sí, su estudio puede iniciarse en un orden cualquiera. Aquí hemos optado por plantear en primer lugar la cuestión de las prácticas de laboratorio, en la medida en que para muchos profesores la renovación de la enseñanza de las ciencias tiene como referente fundamental el trabajo experimental. Insistimos, sin embargo, en que se trata de cuestiones estrechamente relacionadas, por lo que no tendría sentido la lectura aislada de ninguno de los tres capítulos incluidos en esta primera parte.

CAPÍTULO I

LAS PRÁCTICAS DE LABORATORIO COMO INTERÉS PRIORITARIO DE LOS ALUMNOS Y PROFESORES DE CIENCIAS

Proponemos, para comenzar, que se proceda a una reflexión sobre el papel de las prácticas de laboratorio en el aprendizaje de las ciencias que contemple desde su finalidad a las dificultades que presenta su realización.

La idea de buscar en la metodología científica —y, más concretamente, en la realización de abundantes trabajos prácticos— la superación de una enseñanza puramente libresco y la solución a las dificultades en el aprendizaje de las ciencias, cuenta con una larga tradición (Dewey 1916). De hecho constituye una intuición básica de la generalidad de los profesores de ciencias, cuya influencia ha sido particularmente notable en el mundo anglosajón, donde en los años 60/70 se elaboraron numerosos proyectos de aprendizaje «por descubrimiento» (PSSC, BSCS, CBA, CHEM, Nuffield, ...). Por lo que respecta a nuestro país, el carácter enciclopédico de los currícula, la falta de instalaciones y material adecuado o el excesivo número de alumnos por clase, han impedido —en opinión de muchos profesores— este cambio curricular. El paso a una enseñanza de las ciencias eminentemente experimental aparece así como una especie de «revolución pendiente» y los mismos alumnos señalan la ausencia de prácticas como el principal defecto de la enseñanza recibida.

En resumen, para la mayoría del profesorado, la familiarización

con los métodos de la ciencia —mediante la realización de abundantes prácticas de laboratorio— constituye un objetivo prioritario de la educación científica, tan importante o más que la adquisición de conocimientos conceptuales (Boyer y Tiberghien 1989). Sin embargo, más allá de los aspectos meramente cuantitativos, la cuestión se ha mostrado extraordinariamente compleja y la investigación didáctica ha puesto en evidencia graves errores en la orientación dada a los trabajos prácticos y en las concepciones sobre la naturaleza del trabajo científico que subyacen. Se hace necesario, pues, analizar cuidadosamente este tema. Así procederemos a:

- clarificar la naturaleza del trabajo científico,
- analizar críticamente los trabajos prácticos habituales y
- elaborar propuestas alternativas.

1. Características fundamentales del trabajo científico

Dado el papel central que se atribuye a la familiarización con el trabajo científico entre las finalidades de la educación científica, proponemos detenernos en clarificar mínimamente la naturaleza del mismo:

Las expresiones «método científico», metodología científica, etc., son manejadas frecuentemente en los libros de texto y por el profesorado de ciencias. Sin embargo, el significado que se atribuye a dichas expresiones no es siempre el mismo; conviene por ello reflexionar con un cierto detenimiento acerca de los rasgos o características fundamentales del trabajo científico.

No vamos a intentar aquí una exposición, ni siquiera superficial, de la naturaleza del trabajo científico, ni tampoco referirnos a los debates y discrepancias profundas que se dan en su análisis. Resaltaremos tan sólo algunos aspectos esenciales en los que se da una amplia coincidencia entre epistemólogos de muy distintas orientaciones y que podemos resumir así (Gil 1983):

1. En primer lugar hemos de referirnos al rechazo de la idea misma de «Método Científico», con mayúsculas, como conjunto de reglas perfectamente definidas a aplicar mecánicamente (Chalmers 1982; Feyerabend 1975).
2. En segundo lugar hay que resaltar el rechazo generalizado de lo que Piaget (1971) denomina «el mito del origen sensorial de los conocimientos científicos», es decir, el rechazo de un empirismo que concibe los conocimientos como resultado de la inferencia in-

ductiva a partir de datos puros. Por el contrario, se insiste en que toda investigación y la misma búsqueda de datos vienen marcados por paradigmas teóricos —es decir, por visiones coherentes, articuladas— que orientan dicha investigación (Bunge 1976; Lakatos 1982).

Es preciso insistir en la importancia de los paradigmas conceptuales, de las teorías, como origen y término del trabajo científico, en un proceso complejo que incluye eventuales rupturas —cambios revolucionarios— del paradigma vigente en un determinado dominio y surgimiento de nuevos paradigmas teóricos (Kuhn 1971). Y es preciso también insistir en que los problemas científicos constituyen inicialmente «situaciones problemáticas» confusas: el problema no viene dado, siendo necesario formularlo de manera precisa, modelizando la situación, haciendo determinadas opciones de cara a simplificarlo más o menos para poder abordarlo, clarificando el objetivo, etc. Y todo esto partiendo del corpus de conocimientos que se posee en el campo específico en que se realiza la investigación.

3. En tercer lugar hay que resaltar el papel jugado en la investigación por el pensamiento divergente, que se concreta en aspectos fundamentales —y erróneamente relegados en los planteamientos empiristas— como son la invención de hipótesis o el propio diseño de experimentos. No se razona, pues, en términos de certezas, más o menos basadas en «evidencias», sino en términos de hipótesis, que se apoyan, como es lógico, en los conocimientos adquiridos, pero que son contempladas como simples «tentativas de respuesta» que han de ser puestas a prueba lo más rigurosamente posible. Y si bien la obtención de evidencia experimental en condiciones definidas y controladas ocupa un lugar central en la investigación científica, es preciso relativizar dicho papel que sólo cobra sentido con relación a la hipótesis a contrastar y a los diseños concebidos a tal efecto. 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 éstas a la contrastación empírica». Son las hipótesis, pues, las que orientan la búsqueda de datos. Unas hipótesis que, a su vez, nos remiten al paradigma conceptual de partida, poniendo de nuevo en evidencia el error de los planteamientos empiristas.

Añadamos que el hecho de trabajar en términos de hipótesis introduce exigencias suplementarias de rigor: es preciso dudar sistemáticamente de los resultados alcanzados y de todo el proceso seguido para obtenerlos, lo que conduce a revisiones continuas, a

intentar obtener esos resultados por caminos diversos, a mostrar su coherencia con los obtenidos en otras situaciones. Es necesario llamar aquí la atención contra las interpretaciones simplistas de los resultados de los experimentos (Lucas y García Rodeja 1990) y contra un posible «reduccionismo experimentalista» (Hodson 1985): no basta con un tratamiento experimental para falsar o verificar una hipótesis; se trata sobre todo de la existencia, o no, de coherencia global con el marco de un corpus de conocimientos (Popper 1962).

4. Por último, es preciso comprender el carácter social del desarrollo científico, lo que se evidencia no sólo en el hecho de que el punto de partida —el paradigma teórico vigente— es la cristalización de las aportaciones de generaciones de investigadores, sino también en que la investigación responde cada vez más a estructuras institucionalizadas en las que la labor de los individuos es orientada por las líneas de investigación establecidas, por el trabajo del equipo del que forman parte, careciendo prácticamente de sentido la idea de investigación completamente autónoma.

Así se dibuja una imagen imprecisa, nebulosa, de la metodología científica —lejos de toda idea de algoritmo— en la que nada garantiza que se llegará a un buen resultado, pero que representa, sin duda, la mejor forma de orientar el tratamiento de un problema científico (como atestiguan los impresionantes edificios teóricos construidos).

Insistimos en que estos son aspectos esenciales en torno a los cuales existe amplia coincidencia entre los epistemólogos. Por el contrario, según muestra la investigación didáctica, en el profesorado de ciencias persistiría una visión del trabajo científico marcada por un empirismo extremo (Giordan 1978; Gil 1983; Millar y Driver 1987). Nuestra experiencia, sin embargo, es que, si bien las concepciones y la práctica docente de la mayoría del profesorado se ajusta a una visión muy simplista de lo que constituye la ciencia, basta favorecer un mínimo debate al respecto para que los aspectos clave de la metodología científica sean, en general, correctamente señalados. Nos encontraríamos aquí, según esto, con un claro ejemplo de lo que hemos denominado concepciones y comportamientos docentes «de sentido común» —fruto de una aceptación acrítica de «lo que siempre se ha hecho»— y, al mismo tiempo, con un ejemplo de la posibilidad de modificar dichas concepciones y comportamientos a través de un trabajo colectivo de cierta profundidad.

Una vez realizada esta primera aproximación a lo que entendemos por metodología científica, podemos analizar en qué medida las prácticas de laboratorio habitualmente incluidas en la En-

enseñanza Secundaria pueden contribuir a familiarizar con dicha metodología.

2. Análisis crítico de las prácticas de laboratorio en la enseñanza secundaria

Elegid al azar algún trabajo práctico de los que ordinariamente se proponen en la enseñanza secundaria y efectuad un análisis didáctico de la forma en que se presenta, es decir, comentad sus aspectos positivos, aquellos otros que convendría suprimir o modificar, lo que se echa en falta, etc.

Los resultados de esta actividad son muy diferentes —y conviene resaltarlo— según se plantee antes o después de una discusión sobre las características del trabajo científico. En el primer caso, si se solicita, p.e., el análisis de una práctica habitual como primera actividad en un curso sobre trabajos prácticos, los resultados muestran una aceptación global con algunas críticas a aspectos puntuales (falta de claridad en el guión, insuficiente número de medidas, nivel inadecuado, ...). El resultado es radicalmente diferente, repetimos, si se plantea dicho análisis tras un debate en torno a la metodología científica: en ese caso aparece una crítica sistemática al carácter de simple «receta manipulativa» de las prácticas, y se echa a faltar explícitamente que no proporcionen a los alumnos la ocasión de emitir hipótesis, de concebir posibles diseños experimentales, de analizar críticamente los resultados, etc.

Ha bastado la reflexión planteada en torno al trabajo científico para que el profesorado cobre conciencia de las carencias de las prácticas habituales y de la visión deformada que transmiten. De hecho, estas carencias han sido reiteradamente denunciadas en la abundante literatura (Payá 1990) y se ha constatado igualmente la escasa familiarización de los alumnos con aspectos básicos de la metodología científica (Gil y Payá 1988). De este modo, la indudable capacidad motivadora que los trabajos prácticos tienen, a priori, para alumnos y profesores, se convierte en decepción después de realizar algunos. Se hace necesario, pues, una profunda renovación de las prácticas de laboratorio.

3. Una propuesta alternativa: los trabajos prácticos como investigación

La crítica realizada sobre la planificación y realización de las prácticas habituales de laboratorio no puede traducirse en un simple re-

chazo, sino que precisa ir acompañada de propuestas innovadoras susceptibles de proporcionar una imagen más adecuada del trabajo científico y de recuperar el papel motivador que dicha actividad tiene, a priori, para los alumnos:

¿Cómo podría proporcionarse a las prácticas de laboratorio características próximas a una investigación científica?

Se trata de concebir una estrategia para la «traducción» de las prácticas habituales, de forma que se conviertan en una tarea investigativa para los alumnos.

La idea básica que preside nuestra propuesta estriba en dejar de concebir las prácticas como «ilustración» de los conocimientos transmitidos por el profesor o el texto y darles el mismo estatus de «tratamiento de problemas» que tuvieron en el proceso histórico de construcción de dichos conocimientos (Gil 1982). Se trata de presentar a los alumnos la situación problemática de partida que da sentido a la investigación. Ello plantea ya una primera dificultad: pensemos que en la enseñanza habitual los conocimientos son introducidos, en general, de forma aproblemática, es decir, como conocimientos ya elaborados sin referencia siquiera a los problemas que condujeron a su construcción (Otero 1985). Se hace necesario, pues, una búsqueda histórica y un esfuerzo por elaborar propuestas de trabajo que permitan a los alumnos —a partir de los problemas planteados y con la ayuda del «director de investigación»— alcanzar resultados que puedan cotejar con los obtenidos por la comunidad científica (Bevilacqua y Kennedy 1983; Matthews 1990).

Naturalmente no se trata —como en ocasiones se hace— de «contar» a los alumnos la historia de como fueron realizadas las investigaciones para que ellos mismos vayan rehaciendo el proceso que se les describe. Aún cuando esta forma presenta, al menos, la ventaja de su inteligibilidad, los alumnos continúan sin ser sujetos reales de las investigaciones realizadas y, por tanto, sin avanzar hacia una verdadera asunción de la metodología científica. Por ello, consideramos que el planteamiento más correcto consiste en extraer de la historia de la ciencia los problemas más significativos y poner a los alumnos en situación de abordarlos y resolverlos. No se trata, insistimos, de que los alumnos conozcan y repitan los trabajos de, por ejemplo, Galileo, sino de enfrentarles con los mismos problemas a través de actividades debidamente preparadas para favorecer un trabajo realmente significativo. A posteriori, puede ser útil que cotejen su proceso de investigación con los resultados recogidos en la literatura, presentados mediante programas informáticos, etc (Risley y Redish 1989).

Tampoco debe confundirse esta propuesta con la que, designada

como «aprendizaje por descubrimiento» consiste en dejar a los alumnos «investigar libremente» a partir de sus intereses espontáneos; tales propuestas de descubrimiento autónomo suponen una grave incompreensión de la naturaleza del trabajo científico, ignorando el carácter social y la complejidad de una investigación. Se trata, por el contrario, de favorecer un trabajo colectivo que engarce con un paradigma teórico en torno a problemas bien definidos. El papel del profesor es aquí esencial, pero no consiste en imponer la realización de determinadas manipulaciones, sino en dirigir el trabajo de los alumnos, creando situaciones de aprendizaje y condiciones favorables (Coll 1985), dando retroalimentación adecuada, etc.

Pero quizá sea a través de algún ejemplo como mejor pueda constatare la especificidad de nuestra propuesta: en el *Anexo A* hemos incluido una práctica con los comentarios pertinentes para facilitar su comprensión. Prácticas similares han sido diseñadas para cubrir el temario de las ciencias físico-químicas en la enseñanza secundaria (Calatayud, Gil et al 1980; Calatayud, Furió et al 1980; Calatayud et al 1990; Candel, Soler y Satoca 1983) y han sido ensayadas reiteradamente por numerosos profesores con buenos resultados.

4. Más allá de las prácticas de laboratorio

No queremos terminar este capítulo sin referirnos a los problemas que quedan planteados y, en primer lugar, a la necesidad de concebir la familiarización con la metodología científica como un objetivo explícito *pero no autónomo*, sino íntimamente ligado a la construcción de conocimientos. En efecto, los procesos científicos sólo tienen sentido en el marco de cuerpos de conocimientos como punto de partida y término: sin atención a los contenidos —o con tratamientos puntuales, desligados, de los mismos— la metodología científica queda desvirtuada (Sanmartí et al 1990). Paralelamente cabe también alertar contra el peligro didáctico de establecer una asociación reduccionista entre trabajo científico y prácticas de laboratorio (tras la que reaparecen las tesis inductivistas).

Estos son aspectos que remiten, más allá de los trabajos prácticos, a todo el proceso de aprendizaje de las ciencias: reaparecerán, pues —y volveremos a tratarlos, profundizando en los mismos— en los capítulos siguientes, destinados a la resolución de problemas de lápiz y papel y a la introducción de conceptos.

CAPÍTULO II

LA RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS: CAUSAS DEL FRACASO GENERALIZADO DE LOS ALUMNOS Y PROPUESTAS ALTERNATIVAS

Vamos a ocuparnos aquí de un segundo aspecto de la enseñanza/aprendizaje de las ciencias —la resolución de problemas «de lápiz y papel»— al que el profesorado concede justamente una gran importancia, utilizándolo como criterio fundamental en la evaluación de la adquisición de conocimientos (Dumas-Carré 1987). Sin embargo, como se ha señalado repetidamente, quizá la mayor dificultad de los alumnos en el aprendizaje de la Física y de la Química —y, en general, de las Ciencias y Matemáticas— resida en la resolución de problemas. Ello ha hecho que esta resolución constituya una fuente constante de preocupación para el profesorado y se haya convertido en una de las áreas prioritarias de investigación en la didáctica de las ciencias. Pero este constante interés, que sigue actualmente vigente (Garrett 1987; Gil et al 1990; Ramirez 1990), no ha producido mejoras sensibles en los resultados obtenidos por los alumnos. En nuestra opinión ello podría ser debido a las orientaciones y supuestos básicos de la investigación realizada hasta aquí y obligaría a concebir nuevas vías de abordaje del «problema de los problemas».

En efecto, si, como dijo Bachelard, «todo conocimiento es la respuesta a una cuestión», las preguntas que nos formulemos van a determinar en gran medida la validez de la investigación realizada. Y en el campo de la didáctica, tanto o más que en otros, las preguntas a

las que responde la investigación están cargadas de significado implícito que rara vez es sometido a análisis, escapando así a la crítica. De este modo resulta posible que toda una línea de investigación quede prisionera durante años de unas determinadas preguntas que *no son* las únicas posibles. En definitiva, la investigación didáctica puede verse afectada por limitaciones semejantes a la práctica docente del profesorado, es decir, por el peso de todo lo que se acepta como obvio, escapando a la crítica.

El trabajo que presentamos pretende hacer avanzar en la didáctica de la resolución de problemas cuestionando el pensamiento docente espontáneo —como hicimos en el capítulo anterior sobre las prácticas de laboratorio— y la misma investigación realizada hasta aquí. Intentaremos mostrar así la posibilidad de sentar la resolución de problemas sobre nuevas bases, transformándola en una actividad creativa e interesante para los alumnos, así como en un eficaz instrumento de aprendizaje.

1. Los supuestos implícitos en la investigación sobre resolución de problemas

Si analizamos la literatura existente sobre resolución de problemas podemos constatar que una buena parte de esa investigación ha estado dedicada a mostrar las diferencias entre los expertos y los principiantes o, más en general, entre los buenos resolventes y los mediocres, con objeto de establecer las características de una buena resolución y extraer recomendaciones útiles para los alumnos (Larkin y Reif 1979; Finegold y Mass 1985).

Como ya hemos señalado, la abundante investigación realizada con dicha orientación, aunque ha producido, sin duda, algunos resultados de interés, no ha contribuido a reducir las elevadas tasas de fracaso de los alumnos. Conviene, pues, explicitar los supuestos a que responde esa investigación con objeto de concebir otros posibles enfoques.

Un primer supuesto que subyace claramente en la pregunta «¿Qué diferencia un buen resolvente de otro mediocre?» es el de una responsabilidad individual (hay quien resuelve bien los problemas y hay quien no). Ello es coherente con las explicaciones que el profesorado suele dar acerca del fracaso en esta tarea. En efecto, cuando se pregunta al profesorado en activo cuáles pueden ser las causas del fracaso generalizado en la resolución de problemas de Física y de Química, las únicas razones apuntadas por un porcentaje significativo de los encuestados son (Gil y Martínez-Torregrosa 1984; Reyes y Furió 1988):

- falta de suficientes conocimientos teóricos
- escaso dominio del aparato matemático
- lectura no comprensiva del enunciado.

Se trata, como puede verse, de explicaciones que atribuyen el fracaso a carencias de los alumnos, lo que sin duda constituye una de las ideas clave en el «pensamiento espontáneo» de los profesores. Pero, ¿cómo pueden aceptarse este tipo de razones cuando el fracaso afecta a la mayoría de los alumnos?

La investigación realizada en torno a la pregunta «¿Qué diferencia un buen de un mal resolvente?» responde, además a un segundo supuesto: el de que es posible extraer unas recomendaciones de cómo resolver bien los problemas y transmitirlos a los alumnos como forma eficaz de ayuda. Este mismo supuesto subyace en otro gran bloque de la investigación realizada que —desde las clásicas propuestas de Polya (1975)— ha estado dirigida hacia la elaboración de modelos de resolución e incluso algoritmos más o menos precisos (Dumas-Carré 1987). Se trata de un supuesto coherente con el paradigma dominante de enseñanza/aprendizaje basado en la transmisión/recepción de conocimientos ya elaborados (Gil 1983).

En definitiva, la pregunta sobre las diferencias entre buenos y malos resolventes aparece como expresión de unos determinados supuestos que deben ser considerados meras hipótesis y no como algo incuestionable, evitando así que dirijan la investigación en una única dirección, en ocasiones escasamente fructífera. Son necesarias, pues, nuevas preguntas que (re)orienten la investigación.

Es posible así preguntarse ¿qué es lo que los profesores hacemos para enseñar a resolver problemas? o, más precisamente, ¿qué es lo que hacemos para que la mayoría de los alumnos sea incapaz de enfrentarse a un problema en cuanto se aleja mínimamente de los que han resuelto en clase?

Una pregunta como la anterior dirige la atención sobre las orientaciones didácticas de profesores y textos y responde a otra hipótesis: la de que un resultado de fracaso generalizado como el que se da en la resolución de problemas puede tener su origen en errores de planteamiento en el proceso de enseñanza/aprendizaje. Y aún es posible bucear más en profundidad y preguntar ¿en qué medida lo que se enseña en las clases se aproxima a una auténtica resolución de problemas? (Gil y Mtnéz-Torregrosa 1984). Se trata de cuestiones que dirigen la atención sobre las actividades del profesorado y en las que subyace el supuesto de la importancia crucial de los comportamientos, actitudes y expectativas del profesorado en la efectividad del aprendizaje, puesta en evidencia a lo largo de las dos últimas décadas por la denominada *effective school research* (ver capítulo 6).

Nuestro trabajo responde a estas últimas cuestiones. Más aún, res-

ponde a un intento de mostrar que es posible cambiar esta situación y modificar los comportamientos y actitudes del profesorado, si se facilita un trabajo colectivo de «reflexión descondicionada», capaz de romper las limitaciones que suponen las preguntas y supuestos más obvios, de los que a menudo quedamos prisioneros.

Describimos para ello el proceso seguido en un seminario sobre resolución de problemas, planteado como sesiones de trabajo para un número de profesores similar al de alumnos en una aula de enseñanza media. Intentaremos mostrar así que dicho trabajo hace posible la puesta en cuestión de la didáctica habitual de resolución de problemas y la elaboración fundamentada de propuestas más efectivas.

2. La orientación habitual de la resolución de problemas en cuestión

Como ya hemos indicado, cuando se pregunta al profesorado en activo cuáles pueden ser las causas del fracaso generalizado en la resolución de problemas de Física o Química, raramente aducen razones que inculpen a la propia didáctica empleada. Conviene, pues, que una de las primeras actividades a realizar conduzca, precisamente, a poner en cuestión dicha didáctica, a hacer sentir «en carne propia» las deficiencias de la enseñanza habitual de la resolución de problemas. Proponemos, para ello, el siguiente pequeño ejercicio, cuya realización favorece una fecunda discusión posterior.

Un objeto se mueve a lo largo de su trayectoria según la ecuación:
 $e = 25 + 40t - 5t^2$ (e en metros si t en segundos).
¿Qué distancia habrá recorrido a los 5 segundos?

Cuando se propone esta actividad en un curso para profesores de Física y Química en activo, la casi totalidad de los asistentes «resuelve» muy rápidamente el ejercicio, dando como respuesta, en general, 100m o 75m. Sin entrar en la discusión de esta discrepancia, proponemos que calculen la distancia recorrida por el mismo móvil en 6 segundos. Los resultados obtenidos ahora (85m quienes antes obtuvieron 100m y 60m quienes obtuvieron 75) muestran claramente que «algo va mal» (¡el móvil no puede haber recorrido en más tiempo menos distancia!). Estos son los resultados obtenidos habitualmente por los alumnos y también, repetimos, por muchos profesores. La resolución de este aparente enigma es, por supuesto, sencilla: tras una pequeña reflexión, los asistentes (y también los alumnos en sus clases) comprenden que la ecuación $e = 25 + 40t - 5t^2$, corresponde al movimiento de un objeto que avanza con velocidad decreciente hasta pa-

rarse y posteriormente retroceder. Obtienen así los resultados correctos, que son 85m a los 5s y 100m a los 6s.

Pero lo que nos interesa aquí es reflexionar sobre el hecho de que un problema tan sencillo conduzca a resultados erróneos de forma muy generalizada. Conviene, pues, proceder a una reflexión/discusión en torno a ello:

¿A qué cabe atribuir unos resultados erróneos tan generalizados en un problema como el anterior? ¿De qué pueden ser índice? ¿Qué sugieren?

Los resultados del ejercicio que acabamos de comentar actúan de «toma de conciencia» y conducen a un debate detenido, que pone en cuestión la actividad del propio profesorado. Se hace referencia así, entre otras, a las siguientes características de la orientación dada habitualmente a la resolución de problemas:

— La falta de reflexión cualitativa previa, o, dicho de otro modo, el operativismo mecánico con que se abordan habitualmente los problemas, incluso por los mismos profesores. Conviene recordar a este respecto las palabras de Einstein: «Ningún científico piensa con fórmulas. Antes que el físico comience a calcular debe tener en su cerebro el curso de los razonamientos. Estos últimos, en la mayoría de los casos, pueden ser expuestos con palabras sencillas. Los cálculos y las fórmulas constituyen el paso siguiente». Sin embargo, insistimos, la didáctica habitual de resolución de problemas suele impulsar a un operativismo abstracto, carente de significado, que poco puede contribuir a un aprendizaje significativo.

— Un tratamiento superficial que no se detiene en la clarificación de los conceptos. Así, en el problema considerado, se producen evidentes confusiones entre distancia al origen, desplazamiento y distancia recorrida. Y no se trata de una cuestión puramente terminológica de escasa importancia, sino índice, repetimos, de un tratamiento superficial que en poco puede favorecer una auténtica comprensión de los conceptos. Más aún: se manejan casi exclusivamente situaciones que favorecen las confusiones. En el caso que nos ocupa, por ejemplo, la mayor parte de los problemas sobre móviles, toman como sistema de referencia (explícita o, más a menudo, implícitamente) el punto e instante en que el movimiento se inicia y sentido positivo el del movimiento, con lo cual el espacio «e» (posición sobre la trayectoria) coincide con el desplazamiento; si además no hay retrocesos coincidirá también con el valor de la distancia recorrida. La repetición de ejemplos en que esto ocurre lleva, no sólo a confundir los conceptos, sino incluso a hacer «innecesaria» la atención al sistema de referencia. El carácter relativo de todo movimiento es así es-

camoteado, negado en la práctica, por mucho que se haya insistido en él teóricamente. Y es necesario tener presente que esta costumbre de absolutizar el movimiento, tomando siempre como referencia implícita el punto e instante de donde parte el móvil, corresponde a tendencias profundamente arraigadas en el niño a centrar todo estudio en sí mismo, en su propia experiencia, generalizándola acríticamente (Piaget 1970).

De este modo, los problemas, en vez de contribuir a un aprendizaje significativo, ayudando a romper con visiones confusas, favorecen su afianzamiento. Y ello ocurre incluso —o, mejor, sobre todo— cuando se llega a resultados correctos. Pensemos en los numerosos ejercicios sobre caída de graves que se realizan y que los alumnos llegan a hacer casi con los ojos cerrados: ello no impide que sigan pensando que «un cuerpo de doble masa caerá en la mitad de tiempo». Es decir, los problemas «correctamente» resueltos no han permitido poner en cuestión la idea ingenua de la influencia de la masa.

En resumen: los problemas, en vez de ser ocasión privilegiada para construir y profundizar los conocimientos, se convierten en refuerzo de errores conceptuales y metodológicos (volveremos sobre estas cuestiones en el capítulo siguiente dedicado al aprendizaje de conceptos). Podría pensarse que hay mucha exageración en estas conclusiones; pero basta referirse a los abundantes análisis realizados sobre los problemas resueltos en los textos o por los profesores, para constatar que el operativismo, el tratamiento superficial —sin ni siquiera análisis de resultados— es realmente muy general entre el mismo profesorado (Bullejos 1983; Gil y Mtnez Torregrosa 1984). La discusión anterior motiva, pues, que los profesores «tomen conciencia» de las deficiencias de la didáctica habitual de la resolución de problemas y comprendan la necesidad de un replanteamiento en profundidad de la misma.

3. Necesidad de un replanteamiento en profundidad

Las mayores dificultades que a menudo ha encontrado el desarrollo de una ciencia han derivado de supuestos implícitos, aceptados sin cuestionamiento alguno, escapando así a la crítica. En tales casos se impone —como la historia de las ciencias ha mostrado reiteradamente— un replanteamiento en profundidad que analice críticamente hasta lo más obvio. Por lo que se refiere a la didáctica de la resolución de problemas, ello supone descender hasta la clarificación misma de la idea de problema. Ésta es, pues, la actividad que proponemos ahora a los grupos de trabajo:

¿Qué hemos de entender por problema?

Se ha señalado con frecuencia (Krulik y Rudnik 1980: Prendergast 1986) que los investigadores en la resolución de problemas de lápiz y papel no suelen plantearse qué es un problema —lo que, a nuestro entender, constituye una de las limitaciones de sus investigaciones—, pero existe un acuerdo general, entre quienes sí han abordado la cuestión, en caracterizar como problemas aquellas situaciones que plantean dificultades para las que no se poseen soluciones hechas. La definición de Krulik y Rudnik (1980) resume bien este consenso: «Un problema es una situación, cuantitativa o no, que pide una solución para la cual los individuos implicados no conocen medios o caminos evidentes para obtenerla.» Esta misma idea aparece indirectamente cuando se habla de resolución de problemas. Así, Polya (1980) señala que: «resolver un problema consiste en encontrar un camino allí donde previamente no se conocía tal, encontrar una salida para una situación difícil, para vencer un obstáculo, para alcanzar un objetivo deseado que no puede ser inmediatamente alcanzado por medios adecuados.» Algunos autores insisten justamente en el hecho de que la existencia de dificultades no es una característica intrínseca de una situación y que depende también de los conocimientos, experiencia, etc., del resolvente (Garrett 1987). En este sentido Elshout (1985) desarrolla la idea de «umbral de problematicidad» diferente para cada persona y por encima del cual se puede considerar que una situación constituye un verdadero problema para las personas implicadas.

Hay en estas ideas de problema y umbral de problematicidad, una primera fuente para la comprensión de los resultados tan negativos alcanzados en la enseñanza habitual. Nos plantearemos para ello la relación entre dichas ideas sobre lo que son los problemas y lo que se hace en clase:

¿En qué medida las explicaciones de los problemas hechas por los profesores o expuestas en los libros de texto están de acuerdo con su naturaleza de tarea desconocida, para la que de entrada no se posee solución?

La discusión propiciada por esta actividad pone totalmente en cuestión la práctica docente habitual; se señala, en efecto, que los «problemas» son explicados como algo que se sabe hacer, como algo cuya solución se conoce y que no genera dudas ni exige tentativas: el profesor conoce la situación —para él no es un problema— y la explica linealmente, «con toda claridad»; consecuentemente, los alumnos pueden aprender dicha solución y repetirla ante situaciones

idénticas, pero no aprenden a abordar un verdadero problema y cualquier pequeño cambio les supone dificultades insuperables provocando el abandono. En definitiva, esta discusión en torno a qué entender por problema permite realizar una crítica más profunda de la didáctica habitual. En este momento puede darse un paso más y plantear:

Si un problema es una situación para la que no se tiene respuesta elaborada, ¿cómo habrá que enfocar su resolución?

Si se acepta la idea de que todo problema es una situación ante la cual se está inicialmente perdido, una posible orientación consistiría en preguntarse ¿qué hacen los científicos en este caso? Con ello planteamos muy concretamente qué es lo que hacen los científicos delante de lo que para ellos constituye un verdadero problema y no ante un enunciado de lápiz y papel como los que se incluyen en los libros de texto. Se puede esperar, en efecto, que delante de problemas de lápiz y papel los científicos —que son a menudo profesores— adopten actitudes características de la enseñanza habitual y consideren los problemas como situaciones que se debe saber resolver y no como verdaderos problemas. En este sentido, los estudios hechos sobre la manera en que los «expertos» abordan los problemas de lápiz y papel estarían todavía muy lejos de lo que supone enfrentarse a un verdadero problema. Es, pues, más útil preguntarse qué es lo que los científicos hacen cuando tienen que habérselas con auténticos problemas para ellos. La respuesta en este caso es «simplemente» que... se comportan como investigadores. Y si bien es verdad que —tal como hemos visto en el capítulo anterior— expresiones como investigación, metodología científica o método científico (con o sin mayúsculas) no tienen una clara significación unívoca, traducible en etapas precisas, resulta indudable que el tratamiento científico de un problema posee unas características generales que habría que tener en cuenta también en los problemas de lápiz y papel; cabe pues preguntarse cuál es la razón de que ello no ocurra:

¿Qué es lo que en los enunciados habituales dificulta un tratamiento científico de los problemas y deja, en particular, sin sentido a la tarea fundamental de emisión de hipótesis?

El paso a dar ahora no es, ciertamente, fácil; pero el hilo conductor seguido hasta aquí permite concebir que la inclusión de los datos en el enunciado como punto de partida, respondiendo a concepciones inductivistas, orienta la resolución hacia el manejo de unas determinadas magnitudes sin que ello responda a una reflexión cualitativa

ni a las subsiguientes hipótesis. De este modo, al resolver un problema, el alumno se ve abocado a buscar aquellas ecuaciones que pongan en relación los datos e incógnitas proporcionados en el enunciado, cayendo así en un puro operativismo. No basta, pues, denunciar dicho operativismo: se trata de hacerlo imposible atacando sus causas. La comprensión de que la presencia de los datos en el enunciado, así como la indicación de todas las condiciones existentes —todo ello como punto de partida— responde a concepciones inductivistas y orienta incorrectamente la resolución, constituye un paso esencial en el desbloqueo de la enseñanza habitual de problemas y sus limitaciones. Pero al mismo tiempo genera desconcierto, porque choca con la práctica reiterada, con lo que «siempre» se ha hecho. Un enunciado sin datos, se señala, ¿no será algo excesivamente ambiguo frente a lo cual los alumnos acaben extraviándose? Ahora bien, la ambigüedad, o, dicho con otras palabras, las situaciones abiertas, ¿no son acaso una característica esencial de las situaciones genuinamente problemáticas? ¿y no es también una de las tareas fundamentales del trabajo científico acotar los problemas abiertos, imponer condiciones simplificadoras?

Dos dificultades suelen apuntarse durante esta discusión: la primera se refiere a la posibilidad de eliminar los datos y precisiones de los enunciados habituales y construir enunciados más abiertos capaces de generar una resolución acorde con las características del trabajo científico. A este respecto, el trabajo realizado en numerosos talleres y cursos de perfeccionamiento del profesorado, ha permitido constatar que los enunciados habituales son «traducibles» sin dificultad. Así, por ejemplo, el enunciado:

«Sobre un móvil de 5000 Kg, que se desplaza con una velocidad de 20 m/s, actúa una fuerza de frenado de 10 000 N. ¿Qué velocidad llevará a los 75 m de donde comenzó a frenar?»

puede ser traducido a una situación más abierta y que no señale cuáles son las magnitudes relevantes, como la siguiente:

«Un coche comienza a frenar al ver la luz amarilla ¿qué velocidad llevará al llegar al semáforo?»

Por supuesto, son posibles distintos enunciados, distintas situaciones problemáticas, más o menos abiertas; así, el problema anterior puede dar lugar, entre otros muchos, a este enunciado que, aunque aparentemente diferente plantea una situación muy similar:

«¿Chocará el tren contra la roca caída en la vía?»

De hecho, cuando se plantea a varios grupos la traducción de un mismo enunciado tradicional, se obtienen distintas propuestas de situaciones problemáticas, en general igualmente válidas. En cualquier caso interesa destacar que estas traducciones no plantean dificultades mayores y que cualquier enunciado habitual es transformable en situación problemática (Gil y Mtnez-Torregrosa 1987).

Por otra parte, subsiste la cuestión de cómo orientar a los alumnos para abordar dichas situaciones, puesto que no basta, obviamente, con enfrentarles a enunciados sin datos para lograr una actividad exitosa:

¿Qué orientaciones convendría proporcionar a los alumnos para facilitar el aborde de situaciones problemáticas abiertas?

4. La resolución de problemas como investigación

La cuestión de qué orientaciones proporcionar a los alumnos para abordar la resolución de problemas sin datos (en los que ya no es posible el simple juego de datos, fórmulas e incógnitas) conduce a los grupos de profesores a propuestas básicamente coincidentes con las que se enuncian a continuación y que, en conjunto, suponen un modelo de resolución de problemas como investigación (Gil y Mtnez-Torregrosa 1983):

1. Comenzar por un estudio cualitativo de la situación, intentando acotar y definir de manera precisa el problema, explicitando las condiciones que se consideran reinantes, etc.

Cabe señalar que esto es lo que realizan habitualmente los expertos ante un verdadero problema y lo que en ocasiones se recomienda, sin demasiado éxito. Pero los alumnos, ahora, se ven obligados a realizar dicho análisis cualitativo: no pueden evitarlo lanzándose a operar con datos e incógnitas, porque no disponen de ellos. Han de imaginar necesariamente la situación física, tomar decisiones para acotar dicha situación, explicitar qué es lo que se trata de determinar, etc.

2. Emitir hipótesis fundadas sobre los factores de los que puede depender la magnitud buscada y sobre la forma de esta dependencia, imaginando, en particular, casos límite de fácil interpretación física.

Ya hemos hecho referencia en el capítulo anterior al consenso general de los epistemólogos acerca del papel central de la hipótesis en

el tratamiento de verdaderos problemas. En cierta medida, se puede decir que el sentido de la orientación científica —dejando de lado toda idea de «método»— se encuentra en el cambio de un razonamiento basado en «evidencias», en seguridades, a un razonamiento en términos de hipótesis, a la vez más creativo (es necesario ir más allá de lo que parece evidente e imaginar nuevas posibilidades) y más riguroso (es necesario fundamentar y después someter a prueba, cuidadosamente, las hipótesis, dudar del resultado, buscar la coherencia global). Así, son las hipótesis las que focalizan y orientan la resolución, las que indican los parámetros a tener en cuenta (los datos a buscar). Y son las hipótesis —y la totalidad del corpus de conocimientos en que se basan— las que permitirán analizar los resultados y todo el proceso. En definitiva, sin hipótesis una investigación no puede ser sino ensayo y error, deja de ser una investigación científica.

Podría pensarse que es inútil insistir aquí en estas ideas tan conocidas y que han sido ya presentadas en el capítulo anterior. Desgraciadamente es preciso reconocer que si el papel de las hipótesis apenas se toma en consideración en las prácticas de laboratorio, en lo que se refiere a los problemas de lápiz y papel la cuestión ni siquiera se plantea. Sin embargo, los problemas sin datos en el enunciado como los que proponemos obligan a los alumnos a hipotetizar, a imaginar cuáles deben ser los parámetros pertinentes y la forma en que intervienen.

Así, por ejemplo, en un problema como «Un automóvil comienza a frenar al ver la luz amarilla ¿con qué velocidad llegará al paso de peatones?», no se trata sólo de señalar la influencia de la fuerza de frenado, masa del automóvil, distancia a la que se encontraba inicialmente del paso de peatones y velocidad que llevaba, sino de predecir la forma de estas relaciones y, repetimos, considerar posibles casos límites. Los alumnos siguen así profundizando en la situación física, llegando a plantearse por ejemplo, que «si la fuerza de frenado fuese nula, la velocidad que llevaría seguiría siendo la inicial», etc, etc.

También es cierto que en ocasiones, incluso muy a menudo, los alumnos introducen ideas «erróneas» cuando formulan hipótesis. Por ejemplo, cuando se pide cuál será la altura máxima a la que llegará una piedra lanzada hacia arriba, muchos alumnos piensan en la masa del objeto como una variable pertinente. Pero esto, lejos de ser negativo, constituye quizá la mejor manera de sacar a la luz y tratar dichas ideas (que serán falsadas por los resultados obtenidos). Abordaremos esta cuestión con detenimiento en el capítulo siguiente, pero aquí resaltaremos que cada vez que los alumnos abordan una situación problemática en la que interviene una caída de graves, sus ideas acerca de la influencia de la masa pueden reaparecer como hipótesis y ser tratadas; por el contrario, la resolución de decenas de ejercicios habituales sobre este mismo tema no impide que un importante por-

centaje de alumnos de Educación Secundaria e incluso de estudiantes universitarios continúe considerando como «evidente» que un cuerpo de masa doble que otro caerá en la mitad del tiempo empleado por el primero.

3. Elaborar y explicitar posibles estrategias de resolución antes de proceder a ésta, evitando el puro ensayo y error. Buscar distintas vías de resolución para posibilitar la contrastación de los resultados obtenidos y mostrar la coherencia del cuerpo de conocimientos de que se dispone.

Si el corpus de conocimientos de que dispone el alumno juega, como hemos visto, un papel esencial en los procesos de resolución, desde la representación inicial del problema y la manera de modelizar la situación, hasta en las hipótesis que se avanzan, es, sin duda, en la búsqueda de caminos de resolución donde su papel resulta más evidente. En efecto, los problemas de lápiz y papel son situaciones que se abordan disponiendo ya de un corpus de conocimientos suficientemente elaborado para permitir la resolución: su estatus en los libros de texto es el de problemas «de aplicación». Son, en efecto, situaciones que se pueden resolver con los conocimientos ya elaborados, sin que haya necesidad de nuevas verificaciones experimentales. Es, por tanto, lógico y correcto que en la literatura sobre resolución de problemas de lápiz y papel, se dé mucha importancia a un buen conocimiento teórico. Ya no resulta tan correcto que se interprete el fracaso en la resolución como evidencia de la falta de esos conocimientos teóricos: se olvida así que las estrategias de resolución no se derivan automáticamente de los principios teóricos sino que son también construcciones tentativas, que parten del planteamiento cualitativo realizado, de las hipótesis formuladas y de los conocimientos que se poseen en el dominio particular, pero que exigen imaginación y ensayos. Las estrategias de resolución son, en cierta medida, el equivalente a los diseños experimentales en las investigaciones que incluyen una contrastación experimental y hay que encararlas como una tarea abierta, tentativa. Es por ello que resulta conveniente buscar varios caminos de resolución, lo que además de facilitar la contrastación de los resultados puede contribuir a mostrar la coherencia del cuerpo de conocimientos.

4. Realizar la resolución verbalizando al máximo, fundamentando lo que se hace y evitando, una vez más, operativismos carentes de significación física.

La petición de una planificación previa de las estrategias de reso-

lución está dirigida a evitar una actividad próxima al simple «ensayo y error», pero no pretende imponer un proceso rígido: los alumnos (y los científicos) conciben en ocasiones las estrategias de resolución a medida que avanzan, no estando exentos de tener que volver atrás a buscar otro camino. En todo caso, es necesario que la resolución esté fundamentada y claramente explicada —previamente o a medida que se avanza— lo que exige verbalización y se aleja de los tratamientos puramente operativos, sin ninguna explicación, que se encuentran tan a menudo en los libros de texto. Ello exige también una resolución literal hasta el final, lo que permite que el tratamiento se mantenga próximo a los principios manejados y facilitará, además, el análisis de los resultados. Como indican Jansweijer et al (1987) «Cuando la tarea es un verdadero problema, las dificultades y las revisiones son inevitables» y ello se ve facilitado, sin duda, por una resolución literal en la que los factores considerados como pertinentes aparecen explícitamente y se pueden reconocer los principios aplicados, lo que no ocurre, obviamente, en el caso de una resolución numérica.

5. Analizar cuidadosamente los resultados a la luz de las hipótesis elaboradas y, en particular, de los casos límite considerados.

El análisis de los resultados constituye un aspecto esencial en el abordaje de un verdadero problema y supone, sobre todo, su contrastación con relación a las hipótesis emitidas y al corpus de conocimientos. Desde este punto de vista adquieren pleno sentido propuestas como la que Reif (1983) denomina «verificación de la consistencia interna»:

- «¿Es razonable el valor de la respuesta?»
- «¿Depende la respuesta, de una forma cualitativa, de los parámetros del problema en el sentido que cabría esperar?»
- «¿Se ajusta la respuesta a lo que se podría esperar en situaciones sencillas y especiales (por ejemplo las correspondientes a valores extremos de las variables)?»
- «¿Se obtiene la misma respuesta por otro medio diferente de resolución?».

Es importante constatar hasta qué punto el proceso de análisis de los resultados preconizado por Reif en el texto precedente se ajusta a una verificación de hipótesis avanzadas al principio de la resolución para orientarla y dirigir la búsqueda de los datos necesarios —las variables pertinentes— en lugar de pedir que «se reconozcan» en el enunciado como punto de partida. Cabe preguntarse, una vez más, por qué ese paso lógico y aparentemente tan sencillo no ha sido dado ni por Reif ni por otros autores. En nuestra opinión, la razón de ello

estribaría en el hecho de aceptar, sin cuestionarlo, el tipo habitual de enunciado y la orientación didáctica asociada al mismo, consistente en «desproblematizar» los problemas.

Añadamos para terminar que, al igual que ocurre en una verdadera investigación, los resultados pueden ser origen de nuevos problemas. Sería conveniente que los alumnos (y los profesores) llegasen a considerar este aspecto como una de las derivaciones más interesantes de la resolución de problemas, poniendo en juego de nuevo su creatividad.

Es conveniente remarcar que las orientaciones precedentes *no* constituyen un algoritmo que pretenda guiar paso a paso la actividad de los alumnos. Muy al contrario, se trata de indicaciones genéricas destinadas a llamar la atención contra ciertos «vicios metodológicos» connaturales: la tendencia a caer en operativismos ciegos o a pensar en términos de certeza, lo que se traduce en no pensar en posibles caminos alternativos de resolución o en no poner en duda y analizar los resultados, etc.

En el *Anexo B* hemos incluido un ejemplo detallado de aplicación de este modelo remitiéndonos para mayor información a otros trabajos que incluyen la «traducción» y resolución de numerosos problemas de Física y Química, así como los resultados obtenidos con alumnos de Educación Secundaria (Mtnez-Torregrosa 1987; Gil y Mtnez-Torregrosa 1987; Ramírez 1990; Reyes y Furió 1990).

5. Más allá de la resolución de problemas de lápiz y papel

Al plantearnos en este capítulo la grave cuestión del fracaso generalizado de los alumnos en la resolución de problemas, hemos tenido ocasión de mostrar la posibilidad de transformar dicha resolución en una actividad abierta, creativa, capaz de generar el interés de los alumnos. Ello ha sido posible gracias al cuestionamiento sistemático de las ideas docentes de sentido común sobre esta tarea. Hemos reencontrado así ideas y propuestas que parecían limitadas a las prácticas de laboratorio. De hecho las prácticas y los problemas de lápiz y papel quedan ahora abrazados como variantes de una misma actividad: el tratamiento de situaciones problemáticas abiertas, con una orientación próxima a lo que constituye el trabajo científico.

Esta convergencia de estudios inicialmente desconexos, la coherencia de los resultados obtenidos en ambos, se convierte en un apoyo indudable a las propuestas elaboradas y hace concebir la esperanza de que el estudio que realizaremos en el próximo capítulo sobre la introducción y manejo de conceptos, permita establecer nuevas relaciones y contribuya a construir un modelo de enseñanza/aprendizaje de las ciencias que abrace coherentemente todos sus aspectos fundamentales.

CAPÍTULO III

EL APRENDIZAJE DE CONOCIMIENTOS TEÓRICOS

Podría quizá pensarse que el tema de este capítulo debería haberse tratado en primer lugar: al fin y al cabo la explicación de conceptos, leyes, etc., constituye habitualmente la parte fundamental de un curso y otras actividades como los problemas se abordan a la luz de los conocimientos teóricos introducidos.

Sin embargo, dos son las razones que nos han llevado a posponer el tratamiento de la introducción de conceptos: por una parte, la enseñanza de los conocimientos teóricos no es una actividad que preocupe especialmente al profesorado. De hecho, hasta recientemente, nos encontrábamos con relativamente poca investigación al respecto y con bastante más acerca de las prácticas de laboratorio, resolución de problemas o evaluación. Eso estaría justificado si se tiene en cuenta que los alumnos parecen tener muchas menos dificultades en contestar una pregunta teórica que en resolver un problema.

En segundo lugar, la cuestión de la introducción y manejo de conocimientos teóricos que vamos a tratar en este capítulo dio lugar, como veremos, a un replanteamiento global de la enseñanza/aprendizaje de las ciencias que se apoya —integrándolas coherentemente— en las contribuciones realizadas en los dos capítulos anteriores.

De acuerdo con lo anterior, comenzaremos tratando la cuestión del aprendizaje de conceptos, nos referiremos a continuación al profundo replanteamiento de la enseñanza de las ciencias que dicha cuestión generó y veremos, por último, las propuestas alternativas de enseñanza/aprendizaje a que todo este proceso ha dado lugar.

1. Los errores conceptuales como síntoma

Como acabamos de recordar, la enseñanza de conceptos ha preocupado menos al profesorado que cuestiones como la resolución de problemas o la realización de prácticas de laboratorio. Cabía sospechar, sin embargo —y algunos lo hacían— que la aparente facilidad de los alumnos para responder a preguntas teóricas fuera el resultado de una simple repetición memorística: ¿Podía hablarse de comprensión real cuando esos alumnos no eran capaces de aplicar sus conocimientos para resolver sencillos problemas? De hecho cualquier profesor con cierta experiencia docente puede recordar ejemplos de respuestas chocantes que revelan ocasionalmente la profunda incomprensión de algún concepto clave. Pero en general, puede decirse que la mayoría de los alumnos contesta con relativa facilidad al tipo de cuestiones teóricas habitualmente empleadas en los exámenes, mientras que, por el contrario, su desempeño en la resolución de problemas es mucho más deficiente. Fue precisamente la introducción de otro tipo de cuestiones lo que permitió sacar a la luz una grave y general incomprensión de incluso los conceptos más fundamentales y reiteradamente enseñados. Una sencilla pregunta cualitativa del tipo «una piedra cae desde cierta altura en 1 segundo ¿cuánto tiempo tardará en caer desde la misma altura otra piedra de doble masa?» mostraba que un porcentaje muy alto de alumnos al final de su educación secundaria (e incluso de estudiantes universitarios) consideraba que una masa doble se traduciría en la mitad de tiempo de caída. Y ello después de haber resuelto decenas de ejercicios numéricos sobre caída de graves e incluso después de haber hecho un estudio experimental. (La práctica sobre caída de graves es una de las pocas que suelen hacerse en el periodo de la educación secundaria.)

La publicación de algunos estudios rigurosos como la tesis de Laurence Viennot (1976) atrajo la atención sobre este problema que cuestionaba la efectividad de la enseñanza allí donde los resultados parecían más positivos; los alumnos no sólo terminaban sus estudios sin saber resolver problemas y sin una imagen correcta del trabajo científico, sino que la inmensa mayoría de ellos ni siquiera había logrado comprender el significado de los conceptos científicos más básicos, a pesar de una enseñanza reiterada. Particularmente relevante era el hecho de que esos errores no constituían simples olvidos o equivocaciones momentáneas, sino que se expresaban como ideas muy seguras y persistentes, afectando de forma similar a alumnos de distintos países y niveles (incluyendo a un porcentaje significativo de profesores).

No es de extrañar, pues, que el estudio de los que se denominaron *errores conceptuales* se convirtiera rápidamente en una potente lí-

nea de investigación y que el profesorado concediera a dichos estudios una particular atención, como si conectara con algo que en cierto modo se hubiera ya intuido más o menos confusamente a través de la práctica docente.

Puede ser interesante, antes de proseguir, intentar una enumeración de posibles errores conceptuales de importancia;

Señalar algunos puntos del temario de las asignaturas impartidas en las que se sepa o intuya que los alumnos pueden cometer errores conceptuales.

Desde mediados de los años 70 la detección de errores conceptuales relevantes ha dado lugar a una abundante literatura (ver amplias selecciones bibliográficas en Osborne y Wittrock 1983; Carrascosa 1983 y 1985; Hierrezuelo 1989). Todos los campos de las ciencias han sido analizados: la Mecánica en primer lugar, en donde parece que se dan los errores más persistentes (McDermott 1984; Sebastián 1984; Fernández 1987), pero también el Calor (Macedo y Sossan 1985; García Hourcade y Rodríguez de Avila 1985; Cervantes 1987), la Electricidad (Varela 1989), la Óptica (De la Rosa et Al 1984; Guesne 1985; Kaminski y Viennot 1989), la Biología (Jimenez 1987), la Geología (Granda 1988) o la Química (Furió 1987; Grupo Alkali 1990).

Toda esta investigación no se ha limitado, claro está, a describir los errores más frecuentes: como veremos más adelante, ha ido acompañada de un profundo cuestionamiento de la enseñanza habitual. En nuestro país numerosas tesis doctorales han realizado aportaciones relevantes en este campo que es, posiblemente, el más desarrollado de la investigación didáctica entre nosotros (Gené 1986; Solbes 1986; Carrascosa 1987; Llorens 1987; Jiménez 1989; Sanmartí 1989; Cañal 1990; Azcárate 1990). Pero no debe minusvalorarse la aportación que han supuesto las investigaciones descriptivas, que han puesto a punto distintas técnicas de detección y han mostrado la extensión y gravedad del problema. En el *Anexo C* hemos incluido una selección de cuestiones de interés para la detección de algunos errores conceptuales relevantes, con indicación de las fuentes, resultados obtenidos por los investigadores, etc. Una vez puesta en evidencia la extensión y gravedad de los errores conceptuales, se trata ahora de comprender sus causas y de diseñar estrategias de enseñanza que permitan salir al paso de unos resultados tan negativos (Acevedo et al 1989).

2. Posibles causas de la abundancia y persistencia de los errores conceptuales

Indicad, a título de hipótesis, cuáles podrían ser las causas fundamentales que expliquen el origen y la persistencia de los errores conceptuales en el aprendizaje de las ciencias.

Los intentos de explicación de la abundancia y persistencia de errores conceptuales en numerosos dominios de las ciencias han apuntado básicamente a dos causas, relacionadas, además, entre sí:

Por una parte, se ha barajado la hipótesis —con unos u otros matices— de que esos «errores» constituyen más bien ideas espontáneas o preconcepciones que los alumnos ya tenían previamente al aprendizaje escolar. En segundo lugar, la atención se ha dirigido hacia el tipo de enseñanza habitual, poniendo en duda que la transmisión de conocimientos elaborados haga posible una recepción significativa de los mismos, es decir, haga posible que los alumnos pasen a tener las ideas que les han transmitido. Nos referiremos, con algún detalle, a los estudios realizados en ambos campos.

2.1. De la idea de «errores conceptuales» a la de preconcepciones

Las investigaciones sobre errores conceptuales condujeron muy rápidamente a distintos autores a verificar la hipótesis más plausible de la existencia en los niños de ideas sobre temas científicos previas al aprendizaje escolar y que fueron designadas como *teorías ingenuas* (Caramazza et al 1981), *ciencia de los niños* (Gilbert et al 1982; Osborne et al 1983), *esquemas conceptuales alternativos* (Driver y Easley 1978), *representaciones* (Giordan 1985), etc.

Conviene señalar que, aunque el interés por las preconcepciones es reciente, existen precedentes que, con notable antelación, llamaron la atención sobre la «prehistoria del aprendizaje» (Vigotsky 1973) o se refirieron al hecho de que, a menudo, «se conoce contra un conocimiento anterior» (Bachelard 1938). Y es necesario no olvidar tampoco los trabajos de Piaget (1971) que plantean el rastreo del origen psicológico de las nociones hasta sus estadios precientíficos, o de Ausubel (1978), quien llega hasta afirmar: «si yo tuviera que reducir toda la psicología educativa a un sólo principio, enunciaría este: averigüese lo que el alumno ya sabe y enséñese consecuentemente.»

La mayoría de los estudios, realizados en campos muy diversos, aunque muy particularmente en mecánica (McDermott 1984), coinciden básicamente en la caracterización de esos conocimientos previos:

- parecen dotados de cierta coherencia interna (de aquí que autores como Driver hablen de «esquemas conceptuales» y no de simples preconcepciones aisladas),
- son comunes a estudiantes de diferentes medios y edades,
- presentan cierta semejanza con concepciones que estuvieron vigentes a lo largo de la historia del pensamiento y
- son persistentes, es decir, no se modifican fácilmente mediante la enseñanza habitual, incluso reiterada.

También la mayoría de los autores coinciden en considerar esas preconcepciones como el fruto de las experiencias cotidianas de los niños, tanto de sus experiencias físicas (que están constantemente reforzando la idea de que los cuerpos más pesados caen más aprisa, o de que hace falta aplicar una fuerza para que un cuerpo se mueva, etc, etc), como de las sociales a través, p.e., del lenguaje (Llorens et al 1989), que constituye la cristalización de un conocimiento precientífico en el que calor y frío aparecen como sustancias o la palabra animal constituye un insulto. El carácter reiterado de estas experiencias explicaría la persistencia y demás propiedades de las preconcepciones (ser comunes a estudiantes de diferentes medios y edades, etc). Algunos autores, sin embargo, han defendido interpretaciones diferentes. Conviene detenerse en estudiar sus argumentos —compartidos intuitivamente por parte del profesorado— y profundizar así en el origen de esas preconcepciones para fundamentar un posible tratamiento de las mismas que facilite la comprensión de los conocimientos científicos por los alumnos, evitando los «errores conceptuales».

Nos referiremos en primer lugar a las tesis de McClelland (1984), quien expresa toda una serie de reservas acerca de la existencia misma de esquemas conceptuales alternativos:

- (a) Suponer que los alumnos poseen esquemas conceptuales de una cierta coherencia significa atribuirles un comportamiento similar al de los científicos, ignorando la diferencia radical entre el pensamiento de los niños y el de los científicos.
- (b) Los fenómenos físicos no son lo suficientemente relevantes para la inmensa mayoría de los seres humanos y, por tanto, no pueden ser objeto de la concentración y esfuerzo necesarios que precisa la construcción de esquemas teóricos.
- (c) Las respuestas de los niños a las cuestiones que se les plantean sobre los fenómenos físicos que forman parte de su experiencia, no son indicativas de la existencia de preconcepciones, sino el resultado de un cierto imperativo social que les obliga a una «inatención estratégica», es decir, a dar una respuesta dedicándole el mínimo de atención necesaria para no chocar con el profesor.

- (d) Al suponer que el desarrollo histórico de las ideas científicas se reproduce en cada individuo, se infravalora gravemente la potencia y cohesión de las ideas de los adultos en cualquier sociedad humana y se olvidan las diferencias de contexto y de propósito entre el pensamiento adulto y el infantil.

No es difícil mostrar algunas insuficiencias en los argumentos de McClelland. En primer lugar, al imputar los errores conceptuales a una «inatención estratégica» de los alumnos y no a la existencia de verdaderas preconcepciones, no tiene en cuenta que algunos de esos errores —particularmente en el dominio de la mecánica— no son sólo cometidos por niños, sino también por estudiantes universitarios e incluso por profesores en activo. Así, en un estudio realizado con más de 100 profesores de Física y Química de Enseñanza Media, encontramos que un porcentaje superior al 60% contestaba erróneamente a una o más de las siguientes cuestiones del tipo verdadero o falso:

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

El cuestionario contenía otros 7 ítems y las respuestas a todos ellos revelaban la persistencia de una «física intuitiva». No se puede negar pues la existencia de preconcepciones —algunas profundamente enraizadas y de difícil sustitución por los conceptos científicos— ni interpretar los errores conceptuales como resultado de la inatención de los niños frente a cuestiones que no les interesan.

Es cierto que, como McClelland señala, «la diferencia entre el pensamiento de los niños y el de los científicos es categórica y no de grado»; pero lo mismo puede decirse acerca de las concepciones elaboradas por los pensadores de la antigua Grecia: son esencialmente diferentes de las ideas científicas. De hecho, las claras semejanzas entre las concepciones infantiles sobre el movimiento y el paradigma aristotélico —mostradas por los estudios de Piaget (1970) sobre epistemología genética— no puede ser accidental, sino la consecuencia de una misma metodología, consistente en sacar conclusiones a partir de observaciones cualitativas no controladas, en extrapolar las «evidencias», aceptándolas acríticamente (Piaget 1969). Ésta es la forma de pensamiento que llevaba a Aristóteles a escribir: «Un peso dado cu-

bre una cierta distancia en un tiempo dado, un peso mayor cubre la misma distancia en un tiempo menor, siendo los tiempos inversamente proporcionales a los pesos. Así, si un peso es doble de otro, tardará la mitad de tiempo en realizar un movimiento dado» (De Caelo). Y ésta es la metodología que lleva a los alumnos (e incluso a estudiantes universitarios y profesores en formación) a afirmar que «un cuerpo con doble masa que otro caerá en la mitad de tiempo que este». Podríamos así decir que la distinción entre el pensamiento infantil y el pensamiento pre-científico de los adultos es sólo de grado, no categórica: el paradigma aristotélico es, sin duda, más elaborado y coherente que los esquemas conceptuales de los alumnos, pero ambos se basan en «evidencias de sentido común» (Gil y Carrascosa 1985; Hashweh 1986).

Quisiéramos señalar por último que, si bien los fenómenos físicos no son suficientemente relevantes para llevar a los alumnos a teorizar sobre ellos, no debemos olvidar que a lo largo de muchos años las experiencias cotidianas han impuesto inconscientemente una cierta visión del comportamiento de la materia (tendencia de los objetos al reposo, etc) muy similar a las concepciones aristotélicas. No se trata, pues, de teorización, sino de aceptación acrítica de lo que parece evidente.

Una postura diametralmente opuesta es la que sostiene Preecc (1984), quien para explicar la persistencia de las preconcepciones avanza la hipótesis de que no son fruto de la experiencia, sino ideas innatas (lo que explicaría también su semejanza con las concepciones históricas). Dicha hipótesis, sin embargo, no tiene en cuenta que las ideas intuitivas de nuestros alumnos no son fácilmente adquiridas; por el contrario, son el resultado de un largo proceso basado en experiencias cotidianas en un cierto medio cultural. Y lo mismo puede decirse del paradigma aristotélico. De hecho, los alumnos muy jóvenes o las culturas muy primitivas no tienen la relativa coherencia de los esquemas conceptuales alternativos de los adolescentes o de la física pre-clásica. Por otra parte, el punto de vista innatista no da ninguna explicación acerca de cómo el paradigma aristotélico fue históricamente substituido, ni de qué puede hacerse para ayudar a los alumnos a adquirir conceptos científicos que se oponen a las ideas innatas.

En conclusión, podemos afirmar que la existencia de esquemas conceptuales espontáneos es difícilmente cuestionable. Dichos esquemas tendrían en cierto modo la categoría de conocimientos pre-científicos, fruto de una epistemología del sentido común, próxima a la que explica la constitución de la física aristotélico-escolástica, vigente durante más de veinte siglos y cuyo desplazamiento por la física clásica

no fue precisamente fácil. Tenemos aquí un primer elemento explicativo de la persistencia de las preconcepciones. El segundo, que abordaremos a continuación, se refiere al tipo de enseñanza de las ciencias habitualmente impartida.

2.2. *Una enseñanza de las ciencias inadecuada como causa de la persistencia de las preconcepciones*

La existencia de preconcepciones no puede por sí sola justificar los resultados tan negativos logrados por la enseñanza habitual en la comprensión de los conocimientos científicos por los alumnos. Una mínima aproximación a la historia de las ciencias basta para darse cuenta de que los conocimientos científicos no fueron construcciones ex nihilo sino que partieron de —y, a menudo, se enfrentaron con— concepciones pre-científicas de una cierta coherencia. La existencia de preconcepciones —o, si se prefiere, de concepciones pre-científicas— fruto de experiencias reiteradas, era algo perfectamente esperable, con lo que había que contar. Algo que Bachelard (1938) había ya señalado con toda claridad 50 años atrás: «Me ha sorprendido siempre que los profesores de ciencias, en mayor medida, si cabe, que los otros, no comprendan que no se comprenda (...) No han reflexionado sobre el hecho de que el adolescente llega a la clase de física con conocimientos empíricos ya constituidos: se trata, pues, no de *adquirir* una cultura experimental, sino más bien de *cambiar* de cultura experimental, de derribar los obstáculos ya acumulados por la vida cotidiana.»

No sería, según esto, la existencia de preconcepciones en sí lo que explicaría los mediocres resultados obtenidos en el aprendizaje de conceptos, sino esa «falta de comprensión» del profesorado que señala Bachelard, es decir, la propia enseñanza. Conviene detenerse, pues, en analizar la posible inadecuación de esa enseñanza para facilitar la adquisición de los conocimientos científicos.

Analizar críticamente la enseñanza habitual con objeto de profundizar en la comprensión de su ineficacia para desplazar las concepciones pre-científicas por los conocimientos científicos.

Lo que hemos visto hasta aquí sobre las preconcepciones incluye ya una primera crítica a la enseñanza habitual: su ignorancia de aquello que los alumnos ya conocen, la creencia de que basta transmitir los conocimientos científicos de forma clara y ordenada para que los alumnos los comprendan. La sorpresa general con que fueron recibidos los primeros resultados sobre «errores conceptuales» es ya un

claro índice de que las estrategias de enseñanza no tenían en cuenta las concepciones iniciales de los alumnos. Esa ausencia de atención a lo que el alumno o la alumna pueda pensar, a los obstáculos que esas preconcepciones puedan representar, resulta muy evidente en los libros de texto, como han mostrado diversos análisis (Gené 1986; Carrascosa 1987). Puede decirse, en efecto, que en la gran mayoría de los textos:

- no se incluyen actividades que permitan poner de manifiesto (directa o indirectamente) las posibles concepciones alternativas de los alumnos acerca de los temas estudiados;
- no se incluyen actividades ni se hacen referencias que lleven a analizar críticamente lo que dice el sentido común o la experiencia cotidiana acerca de los conceptos implicados;
- no se incluyen observaciones que llamen la atención sobre las ideas que históricamente han supuesto una barrera a la construcción de los conocimientos (y que podrían constituir también una barrera para el aprendizaje de los alumnos) en el dominio considerado;
- no se incluyen actividades para ver en qué medida se ha conseguido la comprensión real de los conceptos introducidos, en qué medida las concepciones pre-científicas han sido superadas.

Se han hecho también análisis de los errores conceptuales contenidos en los mismos textos (Carrascosa 1987): las «perlas» son innumerables y van desde títulos como «Las fuerzas como causa del movimiento» a explicaciones (?) del movimiento circular uniforme del tipo «Por el principio de acción y reacción, la fuerza centrípeta crea en el cuerpo que gira otra igual y opuesta denominada centrífuga». Pero más grave que esta transmisión directa de concepciones incorrectas —que tiene, sobre todo, un valor de síntoma— es la visión que se transmite del trabajo científico: los conceptos son introducidos de forma aproblemática, es decir, sin referencia a los problemas que condujeron a su construcción (Otero 1985) ni detenerse en los conflictos de ideas que el tratamiento de esos problemas generó. No sólo se ignora así que el alumno no es una tabula rasa, sino que se trivializa el cambio de ideas que la construcción de los conocimientos científicos supone, llegando incluso a presentarlos como expresión del sentido común, cuando constituyen precisamente la ruptura con las «evidencias» de ese sentido común. Se olvida, en definitiva, que «las ciencias físicas y químicas, en su desarrollo contemporáneo, pueden caracterizarse epistemológicamente como dominios del pensamiento que rompen netamente con los conocimientos vulgares» (Bachelard 1938).

Todo esto apunta, pues, a que una enseñanza que se limita a presentar los conocimientos elaborados, escondiendo todo el proceso que conduce a su elaboración, impide que los alumnos puedan hacer suyas las nuevas ideas, que sólo tienen sentido en la medida en que el tratamiento de determinados problemas exige su construcción (a menudo *contra* concepciones previas más o menos sólidas).

¿En qué medida estas críticas explican realmente las dificultades de los alumnos? Tan sólo si teniéndolas en cuenta se consiguen resultados netamente mejores podrán aceptarse como válidas. Constituyen explicaciones «tentativas» que exigen, para ser contrastadas, la elaboración de estrategias de enseñanza basadas en las mismas y la constatación de que con ellas los resultados del aprendizaje son significativamente más positivos.

3. Propuestas alternativas para la introducción de los conceptos científicos

El principal interés de las investigaciones sobre esquemas conceptuales alternativos de los alumnos no reside, por supuesto, en el conocimiento detallado de cuáles son sus preconcepciones en cada campo, aun cuando dicho conocimiento aparezca hoy como imprescindible para un correcto planteamiento de las situaciones de aprendizaje. La fecundidad de esta línea de investigación está asociada, sobre todo, a la elaboración de un nuevo modelo de aprendizaje de las ciencias.

¿Qué implicaciones para la enseñanza/aprendizaje de las ciencias podrían derivarse de los estudios sobre preconcepciones?

3.1. *El aprendizaje como cambio conceptual*

La necesidad de nuevas estrategias de aprendizaje que hicieran posible el desplazamiento de las concepciones espontáneas por los conocimientos científicos, ha dado lugar a propuestas que —al margen de algunas diferencias, particularmente terminológicas— coinciden básicamente en concebir el aprendizaje de las ciencias como una *construcción* de conocimientos que parte necesariamente de un conocimiento previo. Se puede hablar así de la emergencia de un modelo constructivista de aprendizaje de las ciencias (Novak 1988) que integra las investigaciones recientes sobre didáctica de las ciencias (Hewson 1981; Posner et Al 1982; Gil 1983; Osborne y Wittrock 1983; Resnick 1983; Driver 1986 y 1988; Hodson 1988...) con muchas otras

contribuciones precedentes (Bachelard, Kelly, Piaget, Vigotsky, ...). Driver (1986) resume así las principales características de la visión constructivista:

- Lo que hay en el cerebro del que va a aprender tiene importancia.
- Encontrar sentido supone establecer relaciones: los conocimientos que pueden conservarse permanentemente en la memoria no son hechos aislados, sino aquellos muy estructurados y que se relacionan de múltiples formas.
- Quien aprende construye activamente significados.
- Los estudiantes son responsables de su propio aprendizaje.

Particular influencia en el replanteamiento de la enseñanza de las ciencias está ejerciendo la propuesta de considerar el aprendizaje como un *cambio conceptual* (Posner, Strike, Hewson y Gerzog 1982), fundamentada en el paralelismo existente entre el desarrollo conceptual de un individuo y la evolución histórica de los conocimientos científicos. Según esto, el aprendizaje significativo de las ciencias constituye una actividad racional semejante a la investigación científica y sus resultados (el cambio conceptual) pueden contemplarse como el equivalente —siguiendo la terminología de Kuhn (1971)— a un cambio de paradigma. A partir de las ideas de Toulmin (1977) sobre filosofía de la ciencia, Posner et al identifican cuatro condiciones para que tenga lugar el cambio conceptual:

1. Es preciso que se produzca insatisfacción con los conceptos existentes.
2. Ha de existir una concepción mínimamente inteligible, que
3. Debe llegar a ser plausible, aunque inicialmente contradiga las ideas previas del alumno, y
4. Ha de ser potencialmente fructífera, dando explicación a las anomalías encontradas y abriendo nuevas áreas de investigación.

Por nuestra parte, una cuidadosa consideración de las características básicas del trabajo científico a la luz de las orientaciones epistemológicas actuales, nos ha permitido alcanzar conclusiones semejantes: «Se dibuja así con toda claridad el paralelismo entre los paradigmas teóricos y su desarrollo (incluidos los periodos de crisis o cambios de paradigmas) y los esquemas conceptuales de los alumnos y su desarrollo, incluidas las reestructuraciones profundas, los cambios conceptuales» (Gil 1983).

Estas concepciones sobre el aprendizaje de las ciencias han con-

ducido en los últimos años a diversos modelos de enseñanza que —como señala Pozo (1989)— tienen como objetivo explícito provocar en los alumnos cambios conceptuales. Así, para Driver (1986), la secuencia de actividades incluiría:

- (a) la identificación y clarificación de las ideas que ya poseen los alumnos;
- (b) la puesta en cuestión de las ideas de los estudiantes a través del uso de contraejemplos;
- (c) la introducción de nuevos conceptos, bien mediante «tormenta de ideas» de los alumnos, o por presentación explícita del profesor, o a través de los materiales de instrucción;
- (d) proporcionar oportunidades a los estudiantes para usar las nuevas ideas y hacer así que adquieran confianza en las mismas.

¿Hasta qué punto estas orientaciones son realmente efectivas? Algunos resultados experimentales (Hewson y Thorley 1989) sugieren que las estrategias de enseñanza basadas en el modelo de cambio conceptual producen la adquisición de conocimientos científicos más eficazmente que la estrategia habitual de transmisión/recepción. La atención a las ideas previas de los alumnos y la orientación de la enseñanza tendente a hacer posible el cambio conceptual aparecen hoy como adquisiciones relevantes de la didáctica de las ciencias, a la vez teóricamente fundamentadas y apoyadas por evidencia experimental. Pese a ello, algunos autores han constatado que ciertas concepciones alternativas son resistentes a la instrucción, incluso cuando ésta se orienta explícitamente a producir el cambio conceptual (Fredette y Lochhead 1981; Engel y Driver 1986; Shuell 1987; White y Gunstone 1989). Se ha señalado incluso que, en ocasiones, el cambio conceptual conseguido es más aparente que real, como lo muestra el hecho de que al poco tiempo vuelvan a reaparecer las concepciones que se creían superadas (Happs 1985, citado por Hewson y Thorley 1989). En nuestra opinión ello indica la necesidad de profundizar en el modelo de aprendizaje de las ciencias, teniendo en cuenta otros aspectos además de la existencia de preconcepciones. Nos referiremos a ello en el siguiente apartado.

3.2. *El aprendizaje como tratamiento de problemas*

Como ya hemos mencionado, la importancia de las concepciones alternativas de los alumnos y la necesidad de orientar el aprendizaje como un cambio conceptual y no como una adquisición ex nihilo

puede basarse en la existencia de un cierto isomorfismo entre el aprendizaje (es decir, la construcción de conocimientos por los alumnos a partir —y en ocasiones en contra— de sus preconcepciones) y la investigación (es decir, la construcción de conocimientos por la comunidad científica a partir —y en ocasiones en contra— del paradigma vigente). Pero este mismo isomorfismo sugiere que para producir el cambio conceptual no basta con tomar en consideración las preconcepciones de los alumnos. Efectivamente, la semejanza entre las ideas intuitivas de las alumnas y alumnos y las concepciones pre-clásicas no puede ser accidental, sino el resultado de una misma forma de abordar los problemas que ya hemos descrito en el apartado 2.1. Resumiendo lo que allí expusimos podemos decir que los esquemas conceptuales alternativos están asociados —al igual que lo estuvo la física pre-clásica— con una metodología caracterizada por la certidumbre, por la ausencia de dudas y la no consideración de soluciones alternativas, por respuestas muy rápidas y seguras basadas en las evidencias del sentido común y por tratamientos puntuales con falta de coherencia en el análisis de diferentes situaciones (Minestrell 1982; Whitaker 1983; Halloun y Hestenes 1985; Hewson 1985; Champagne, Gunstone y Klopfer 1985; Hewson 1990).

Según esto cabría pensar que un cambio conceptual no es posible sin un cambio metodológico. De hecho, el paradigma pre-clásico sólo pudo ser desplazado gracias a la nueva metodología que combinaba la creatividad del pensamiento divergente con el rigor de la contrastación de las hipótesis mediante experimentos en condiciones controladas y la búsqueda de coherencia global. Históricamente, ese cambio conceptual no fue en absoluto fácil y es lógico pensar que lo mismo ocurrirá con los alumnos: solamente si son puestos reiteradamente en situación de aplicar esta metodología (es decir, en situación de construir hipótesis, diseñar experimentos, realizarlos y analizar cuidadosamente los resultados, con una atención particular a la coherencia global, etc) será posible que superen su metodología del sentido común al tiempo que se producen los profundos cambios conceptuales que exige la construcción del conocimiento científico.

Las consideraciones anteriores implican una crítica de las estrategias de enseñanza que hemos descrito en el apartado anterior, en un doble aspecto: por una parte dichas estrategias parecen poner exclusivamente el acento en la modificación de las ideas. Y aunque es cierto, como señalan Hewson y Thorley (1989), que el cambio conceptual tiene sus exigencias epistemológicas y no debe considerarse como un simple cambio del contenido de las concepciones, en nuestra opinión es necesario una mayor insistencia en que el cambio conceptual comporta un cambio metodológico, por lo que las estrategias de enseñanza han de incluir explícitamente actividades que asocien el cam-

bio conceptual con la práctica de aspectos clave de la metodología científica, tal como ocurrió históricamente. Pensemos, a este respecto, que uno de los defectos de la enseñanza de las ciencias repetidamente denunciado ha sido el de estar centrada casi exclusivamente en los conocimientos declarativos (en los «qué») olvidando los procedimentales (los «cómo»). Así no puede esperarse que baste hablar de cambio conceptual para que se tengan en cuenta las exigencias metodológicas y epistemológicas que ello comporta. Por el contrario, cabe temer que sin una insistencia muy explícita y fundamentada, las actividades creativas del trabajo científico —la invención de hipótesis, etc— continuarán prácticamente ausentes de las clases de ciencias (Yager y Penick 1983). Sin embargo, las estrategias de enseñanza a que nos hemos referido en el apartado anterior no parecen incluir esta aproximación de la actividad de los alumnos a lo que constituye la investigación científica.

Aún es posible hacer otra crítica más fundamental si cabe, a esas estrategias de enseñanza: la secuencia que proponen consiste, como se recordará, en sacar a la luz las ideas de los alumnos, favoreciendo su formulación y consolidación, para después crear conflictos que las pongan en cuestión e introducir, a continuación, las concepciones científicas cuya mayor potencia explicativa va a hacer posible el cambio conceptual. Es cierto que dicha estrategia puede, puntualmente, dar resultados muy positivos al llamar la atención sobre el peso de ciertas ideas de sentido común, asumidas acríticamente como evidencias; pero, también es cierto que se trata de una estrategia «perversa». En efecto ¿qué sentido tiene hacer que los alumnos expliciten y afiancen *sus* ideas para seguidamente cuestionarlas? ¿cómo no ver en ello un artificio que aleja la situación de lo que constituye la construcción de conocimientos? Esa construcción nunca se plantea para cuestionar ideas, para provocar cambios conceptuales, sino como resultado de las investigaciones realizadas para resolver problemas de interés; problemas que se abordan, como es lógico, a partir de los conocimientos que se poseen y de nuevas ideas que se construyen a título tentativo. En ese proceso, las concepciones iniciales podrán experimentar cambios e incluso, aunque más raramente, ser cuestionadas radicalmente, pero ése no será nunca el objetivo, sino, repetimos, la resolución de los problemas planteados. Por esta razón la estrategia de enseñanza que nos parece más coherente con la orientación constructivista es la que plantea el aprendizaje como *tratamiento de situaciones problemáticas* de interés. Y de nuevo ello nos remite a la necesidad de unificar aprendizaje de conocimientos teóricos y familiarización con el trabajo científico: todo aprendizaje aparece ahora como tratamiento de situaciones problemáticas y desaparece la habitual separación entre las actividades de introducción de conceptos, re-

solución de problemas y trabajos prácticos. En la cuarta parte de este libro, dedicada al diseño de un currículo de ciencias para la educación secundaria obligatoria, se desarrolla con un cierto detenimiento esta forma de orientar el aprendizaje de las ciencias. Aquí terminaremos haciendo explícita una cuestión que muchos profesores e investigadores han planteado frente a las propuestas constructivistas:

¿Tiene sentido esperar que los alumnos puedan construir los conocimientos que tanto tiempo y esfuerzo exigieron de los más relevantes científicos?

Se trata de una pregunta que no intenta descalificar los planteamientos constructivistas del aprendizaje en dominios accesibles, próximos a la vida cotidiana, que pueden abordarse con estrategias relativamente simples (Kamii y DeVries 1983; Moreno 1987; Cañal y Porlan 1987), pero que pone en cuestión el que conocimientos complejos —y, a menudo, plagados de auténticas «barreras epistemológicas»— como los de la mecánica newtoniana, puedan ser construidos por los propios alumnos. Y es preciso reconocer que se trata de una cuestión importante, que no puede despacharse con simples referencias a las tendencias investigativas connaturales en el individuo (Pope y Gilbert 1983) e incluso en los niños más jóvenes (Tonucci 1976; Benlloch 1984). Sabemos que esta «capacidad investigadora general» (Cañal y Porlan 1987) es una adquisición fundamental de la especie humana, pero que no puede confundirse con la «investigación científica», con la que sin duda está relacionada, pero entre las que existen también diferencias fundamentales. Es preciso reconocer que la construcción de, por ejemplo, la mecánica clásica, plantea problemas que salen del marco del pensamiento ordinario, como prueba tanto su tardía construcción histórica, como el hecho de que los alumnos y los mismos adultos —incluso aquellos que han recibido instrucción escolar reiterada en este dominio— mantienen, muy a menudo, concepciones pre-clásicas. Tampoco podemos limitarnos a contestar que la solución estriba en familiarizar a los alumnos con la «metodología científica»: sabemos que *no* existe un «Método Científico» infalible, que baste poseer para que la construcción de los conocimientos deje de ser un problema. Esta visión del trabajo científico es, por supuesto, profundamente errónea, como hemos intentado mostrar en el capítulo segundo.

En definitiva, la construcción de conocimientos científicos plantea serias dificultades y no caben respuestas simplistas a la pregunta formulada por quienes dudan de la validez de las orientaciones constructivistas en este campo. Intentaremos mostrar, sin embargo, que existe respuesta a esta cuestión desde posiciones constructivistas y

que dicha respuesta es coherente con la naturaleza del trabajo científico.

La crítica de la que venimos ocupándonos suele expresarse, más precisamente, en los siguientes términos: «No tiene sentido suponer que los alumnos, por sí solos puedan construir todos los conocimientos que tanto tiempo y esfuerzo exigieron de los más relevantes científicos». Por supuesto, es difícil no estar de acuerdo en que los alumnos *por sí solos* (?) no pueden construir *todos* (?) los conocimientos científicos. Como señala Pozo (1987) «es bien cierto que muchos de los conceptos centrales de la ciencia son bastantes difíciles de descubrir para la mayoría —si no para la totalidad— de los adolescentes e incluso de los adultos universitarios». Sin embargo, de aquí no se sigue que se haya de recurrir necesariamente a la transmisión de dichos conocimientos ni que se haya de poner en cuestión las orientaciones constructivistas. En efecto, es bien sabido que cuando alguien se incorpora a un equipo de investigadores, rápidamente puede alcanzar el nivel del resto del equipo. Y ello *no* mediante una transmisión verbal, sino abordando problemas en los que quienes actúan de directores/formadores son expertos. La situación cambia, por supuesto, cuando se abordan problemas que son nuevos para todos. El avance —si lo hay— se hace entonces lento y sinuoso. La propuesta de organizar el aprendizaje de los alumnos como una construcción de conocimientos, responde a la primera de las situaciones, es decir, a la de una investigación dirigida, en dominios perfectamente conocidos por el «director de investigaciones» (profesor) y en la que los resultados parciales, embrionarios, obtenidos por los alumnos, pueden ser reforzados, matizados o puestos en cuestión, por los obtenidos por los científicos que les han precedido. No se trata, pues, de «engañar» a los alumnos, de hacerles creer que los conocimientos se construyen con la aparente facilidad con que ellos los adquieren (Hodson 1985), sino de colocarles en una situación por la que los científicos habitualmente pasan durante su formación, y durante la que podrán familiarizarse mínimamente con lo que es el trabajo científico y sus resultados, replicando para ello investigaciones ya realizadas por otros, abordando, en definitiva, problemas conocidos por quienes dirigen su trabajo.

El planteamiento constructivista del aprendizaje de las ciencias ha de responder a estas características de investigación dirigida. Un trabajo de investigación en el que constantemente se cotejan los resultados de los distintos equipos y se cuenta con la inestimable ayuda de un experto. No creemos necesario insistir aquí en los bien conocidos y documentados argumentos en favor del trabajo en pequeños grupos como forma de incrementar el nivel de participación y la creatividad necesaria para abordar situaciones no familiares y abiertas

(Ausubel 1978; Solomon 1987; Linn 1987), como indudablemente son las concebidas para posibilitar la construcción de conocimientos. Sí queremos insistir, por el contrario, en la necesidad de favorecer la máxima interacción entre los grupos, a través de la cual los alumnos pueden asomarse a una característica fundamental del trabajo científico: la insuficiencia de las ideas y resultados obtenidos por un único colectivo y la necesidad de cotejarlos con los obtenidos por otros, hasta que se produzca suficiente evidencia convergente para que la comunidad científica los acepte. Nunca se insistirá bastante, en efecto, en que, por ejemplo, unos pocos resultados experimentales como los que se pueden obtener en un laboratorio escolar no permiten hablar de verificación de hipótesis (Hodson 1985); de ahí la importancia de los intercambios inter-grupos y la participación del profesor como «portavoz de otros muchos investigadores», es decir, de lo que la comunidad científica ha ido aceptando como resultado de un largo y difícil proceso. En este sentido, estamos totalmente de acuerdo con Pozo (1987) cuando afirma que: «De lo que se trata es que el alumno construya su propia ciencia “subido a hombros de gigantes” y no de un modo autista, ajeno al propio progreso del conocimiento científico.» No pensamos, sin embargo, que ello se favorezca con «la integración de la enseñanza por descubrimiento y de la enseñanza receptiva» (Pozo 1987), sino mediante un trabajo colectivo de investigación dirigida, tan alejado del descubrimiento autónomo como de la transmisión de conocimientos ya elaborados (Gil 1983; Millar y Driver 1987).

4. Más allá del aprendizaje de conceptos

Hemos comenzado este capítulo abordando una cuestión, el aprendizaje de los conocimientos teóricos, menos conflictiva, en principio, que la resolución de problemas de lápiz y papel (marcada por un fracaso generalizado de los alumnos) o la realización de prácticas de laboratorio (eterna «revolución pendiente» de la educación científica). Sin embargo, las dificultades de la enseñanza en este aspecto se han revelado también de una extraordinaria gravedad, mostrando su incapacidad para lograr que los alumnos lleguen a comprender siquiera los conceptos más fundamentales, pese a una enseñanza reiterada. Ello ha puesto en cuestión las estrategias habituales de transmisión de conocimientos elaborados y ha obligado a una profundización de la enseñanza/aprendizaje de las ciencias que se ha traducido en un consenso emergente en torno a orientaciones constructivistas: el aprendizaje de las ciencias exige que los alumnos construyan los conocimientos, a partir de sus propias concepciones pre-científicas, im-

plicándose para ello en una actividad investigativa (como investigadores «novatos» que trabajan en un campo muy bien conocido por el «experto» que les dirige). El aprendizaje de las ciencias adquiere así características similares a la construcción de conocimientos por la comunidad científica. Pero la construcción histórica de las ciencias constituye un proceso muy complejo que no se ha desarrollado en una torre de marfil, sino en una constante interacción ciencia/técnica/sociedad, sometido a los condicionamientos de las expectativas sociales, del clima creado en los equipos de trabajo, etc. Todo ello nos remite a aspectos esenciales en el aprendizaje de las ciencias pero habitualmente olvidados, como son los de las relaciones enseñanza/medio, el clima del aula y del centro o las actitudes de los alumnos; nos ocuparemos de estos aspectos en los tres capítulos siguientes, conscientes de que ello es necesario para dar una imagen correcta del trabajo científico y, en definitiva, para favorecer el aprendizaje de los alumnos.

SEGUNDA PARTE

OTROS ASPECTOS ESENCIALES (PERO HABITUALMENTE OLVIDADOS) EN EL PLANTEAMIENTO DE LA ENSEÑANZA/APRENDIZAJE DE LAS CIENCIAS

Hemos realizado en la primera parte de esta Didáctica estudios de una cierta profundidad en aspectos considerados clave del aprendizaje de las ciencias —conocimientos teóricos, prácticas de laboratorio y problemas de lápiz y papel— cuyos resultados apoyan coherentemente, en nuestra opinión, una estrategia de enseñanza/aprendizaje que integra adquisición de conceptos y familiarización con la metodología científica.

La actividad de los alumnos se convierte, en esa perspectiva, en un tratamiento de problemas con características semejantes a las de una investigación científica. Esta similitud entre aprendizaje de las ciencias e investigación dirige la atención hacia otros aspectos indisolublemente asociados al trabajo de los científicos, pero habitualmente ausentes en los currículos de educación científica (Solbes y Vilches 1989): nos referimos a cuestiones como las complejas interacciones ciencia/técnica/sociedad (C/T/S), marcadas a menudo por contradicciones y conflictos, o el «clima» en que se desarrolla el trabajo científico (grado de institucionalización, existencia de equipos capaces de integrar y formar a nuevas generaciones de investigadores, etc.).

Trataremos dichos aspectos en esta segunda parte, pero no sólo para dar una imagen más correcta de la ciencia, sino, sobre todo, por-

que —como intentaremos mostrar— influyen de forma determinante en el aprendizaje, contribuyendo a dar sentido a los estudios realizados y favoreciendo, en particular, el interés de los alumnos. Abordaremos así:

- las relaciones entre aprendizaje de las ciencias y el medio externo (interacciones ciencia/técnica/sociedad, etc);
- las relaciones entre aprendizaje de las ciencias y el medio escolar (clima del aula y del centro);
- las actitudes de los alumnos hacia el aprendizaje de las ciencias.

Conviene señalar que estos estudios están considerados hoy entre los potencialmente más fructíferos de la investigación e innovación en la didáctica de las ciencias (Welch 1985).

CAPÍTULO IV

LAS RELACIONES ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS/MEDIO: ¿DESVIACIÓN O PROFUNDIZACIÓN EN EL CONOCIMIENTO CIENTÍFICO?

El trabajo de los hombres y mujeres de ciencia —como cualquier otra actividad humana— no tiene lugar al margen de la sociedad en que viven y se ve afectado, lógicamente, por los problemas y circunstancias del momento histórico, del mismo modo que su acción tiene una clara influencia sobre el medio físico y social en que se inserta. Señalar esto puede parecer superfluo; sin embargo, la idea de que hacer ciencia es poco menos que encerrarse en una torre de marfil —«en el mundo de los libros», etc— desconectando de la realidad, constituye una imagen tópica muy extendida y a la que nuestra enseñanza lamentablemente contribuye con su reducción a la transmisión de contenidos conceptuales y, a lo sumo, entrenamiento en alguna destreza, pero dejando de lado los aspectos históricos, sociales,... que enmarcan el desarrollo científico (Bernal 1967).

¿Hasta qué punto no resulta lógico que la enseñanza de las ciencias se centre en los contenidos científicos, tanto para optimizar el tiempo disponible como para evitar derivaciones políticas e ideológicas que salgan del marco objetivo de lo científico y hagan caer en lo subjetivo y opinable?

Podría pensarse que priorizar la adquisición de conocimientos científicos constituye una opción razonable, en la preparación inicial

de futuros científicos, pero dos tipos de razones cuestionan dicha opción:

Por una parte, es obvio que la educación científica en el nivel secundario no tiene como finalidad formar científicos, sino a los futuros ciudadanos de una sociedad, eso sí, cada vez más impregnada por la ciencia y la tecnología (ver los capítulos sobre el diseño del currículum). Desde este punto de vista, la comprensión de las interacciones ciencia/técnica/sociedad se convierte en un aspecto esencial si se quiere que esos ciudadanos puedan adoptar una actitud responsable y fundamentada frente al desarrollo científico/técnico y las consecuencias que se derivan (Catalán y Catany 1986; Polo y López 1987; Jiménez y Otero 1990).

El argumento anterior constituye, sin duda, una razón de peso para tener presente en el currículum las relaciones ciencia/medio, aunque hace pensar que se trata de una «desviación» de lo que constituye la educación científica *sensu strictu*: una desviación necesaria debido a que no se trata de formar científicos sino ciudadanos. Intentaremos mostrar, sin embargo, que contemplar las interacciones C/T/S es necesario *también* para la formación de futuros científicos y que —lejos de suponer una desviación— constituye una profundización en el conocimiento científico, saliendo al paso de visiones deformadas muy extendidas acerca de una ciencia «pura», sin relación con las concepciones y problemática del mundo «exterior» (Catalán y Catany 1986).

En primer lugar, ya hemos visto en el capítulo anterior las graves consecuencias que para el aprendizaje tiene el olvido de las concepciones formadas en la vida ordinaria: los conocimientos científicos se construyen a partir —y, en ocasiones, en contra— de las ideas y formas de abordar los problemas en la vida cotidiana, y la enseñanza de las ciencias ha de tenerlos necesariamente en cuenta para que pueda tener lugar un aprendizaje efectivo de los conocimientos científicos.

En segundo lugar, la integración del aprendizaje de las ciencias con la problemática del medio en el que viven los alumnos está apareciendo como una de las estrategias más eficaces en la educación científica. En efecto, en un análisis de 104 cursos altamente valorados por alumnos norteamericanos — que se ha dado a conocer gracias a un programa de «búsqueda de excelencia» iniciado en 1982 por la National Science Teachers Association— Penick y Yager (1986) señalan cuatro tendencias fundamentales en la enseñanza de las ciencias que cabe esperar ejerzan gran influencia en las orientaciones de la práctica docente y de la investigación didáctica. Dos de estas tendencias apuntan muy claramente a la integración escuela/medio. Penick y Yager se refieren así a la implicación de las comunidades locales en el desarrollo de los programas y de su instrucción, ya que

de esta forma se refuerza el conocimiento de las necesidades y recursos del medio ambiental próximo al estudiante, aumentando su actitud positiva hacia esos programas de estudios.

Proponer posibles formas de favorecer la integración escuela/medio.

Como formas de favorecer esta integración entre escuela y medio, Penick y Yager citan, entre otras, las siguientes:

- el trabajo de estudiantes junto a investigadores, ingenieros, etc,
- seminarios impartidos por investigadores a los profesores y estudiantes sobre los problemas de todo tipo que genera el desarrollo científico,
- la participación de estudiantes en órganos ciudadanos de gobierno para la toma de decisiones.

Puede pensarse también en otras formas como, por ejemplo, la elaboración por los alumnos de «productos» de interés para el público general (exposiciones monográficas, ferias científicas, etc) a través de las cuales la escuela se abre a la sociedad y los alumnos se implican en tareas que van más allá del ejercicio escolar (Freinet 1976).

Por otra parte, Penick y Yager señalan que las relaciones C/T/S constituyen una parte central de los cursos altamente valorados. La idea de que la tecnología es algo «demasiado mundano» para la clase está siendo hoy revisada (Martinand 1986) y los diseñadores de programas reconocen que la ciencia, sin sus implicaciones sociales, no significa mucho ni para los estudiantes ni para los ciudadanos. Esta orientación C/T/S presenta la estructura de la ciencia en relación con la sociedad, sin olvidar los aspectos más conflictivos. Los estudiantes trabajan así algunos problemas con los que tendrán que enfrentarse como adultos —futuros científicos o no— y comienzan a comprender el papel de la ciencia y del desarrollo tecnológico, adquiriendo una formación necesaria para el ciudadano, particularmente en lo que se refiere a una actitud de responsabilidad hacia el porvenir del medio ambiente (Sieres y García-Gómez 1985).

La importancia de estas interacciones C/T/S ha conducido al diseño de módulos de educación científica —e incluso de currícula enteros— centrados en el tratamiento de problemas específicos de interés social como, por ejemplo, el crecimiento de la población o el consumo energético (Rosenthal 1989) y se ha recurrido también al tratamiento interdisciplinar de temas como el desarrollo histórico de la ciencia, las responsabilidades sociales de los científicos, etc. En el programa DISS (Discussion of Issues in School Science) se favorece el debate de los alumnos en torno a aspectos sociales del desarrollo

científico después de proyectarles un video apropiado. Solomon (1990) utiliza esta actividad para registrar los debates y estudiar los valores personales de los estudiantes, los conflictos que se generan y los procesos a través de los cuales negocian sus ideas y valores. Ahora bien, como indican Aikenhead y Désautels (1989) o Solbes y Vilches (1989) lo más conveniente es que las interacciones C/T/S sean tratadas en conjunción con los contenidos «normales» de las disciplinas científicas, no renunciando a la construcción de cuerpos coherentes de conocimientos (sin lo cual no tiene sentido hablar de ciencia) ni presentando la construcción de estos conocimientos como algo ajeno a las interacciones C/T/S. Con ello el curriculum de ciencias no sólo resulta mucho más valorado por los estudiantes, sino que su visión del trabajo científico se enriquece, superando algunos tópicos deformantes.

Se puede así salir al paso de la habitual distinción entre ciencia y técnica, que relega a esta última al papel de una «simple» aplicación de los conocimientos científicos. Interesa, pues, que los alumnos puedan constatar que en muchos casos la frontera entre ciencia y técnica no está bien definida y que uno de los motores del progreso científico es, precisamente, el intento de solucionar algún problema técnico, mientras que en otros casos (como ocurrió, p.e., con el telescopio) son los avances técnicos los que permiten un desarrollo espectacular del conocimiento científico. Del mismo modo se puede cuestionar la idea errónea de que las soluciones a muchos problemas sociales relacionados con las ciencias —como puede ser el de la lluvia ácida, etc— dependen únicamente de un mayor conocimiento científico y de tecnologías más avanzadas. Se trata de un cientifismo simplista que es preciso modificar haciendo ver que la toma de decisiones no constituye una cuestión puramente técnica (Aikenhead 1985). Y, por citar un último ejemplo relevante de preconcepción errónea sobre la ciencia y los científicos que el tratamiento de las interacciones C/T/S hace posible superar, nos referiremos al supuesto carácter neutral que suele atribuirse a la ciencia como depositaria de un conocimiento aséptico, objetivo e imparcial que ignora los graves conflictos históricos y su papel dinamizador del desarrollo científico (Apple 1986).

Podemos concluir, pues, afirmando que las relaciones aprendizaje de las ciencias/medio no sólo no suponen una «desviación» que nos aleje de los conocimientos científicos, sino que constituyen una profundización en la problemática asociada a su construcción (García 1987) que le da sentido y favorece el interés de los alumnos por la ciencia y su estudio (Fdez Rojero y Moreno 1989; Solbes y Vilches 1989).

CAPÍTULO V

EL CLIMA DEL AULA Y DEL CENTRO EN EL APRENDIZAJE DE LAS CIENCIAS

Las cuestiones que vamos a considerar en este apartado figuran entre aquellas que habitualmente se abordan en una sociología de la educación o en una didáctica general; sin embargo, en una revisión de la investigación realizada en las últimas décadas en el campo de la didáctica de las ciencias, Welch (1985) incluye el clima escolar y el clima del aula entre las siete líneas de investigación que se citan en la literatura como más prometedoras por su posible incidencia positiva en el aprendizaje de las ciencias.

La importancia de estos factores ambientales aparece claramente y con características específicas desde la orientación constructivista que hemos adoptado, que contempla el aprendizaje de las ciencias como una actividad próxima a la investigación realizada por «científicos novatos» en campos que su formador/director de investigaciones domina. En ese caso resulta sin duda determinante, entre otros:

- la existencia de equipos con expertos capaces de formar a nuevas generaciones de investigadores, ayudándoles a abordar problemas de interés, realizando un seguimiento cuidadoso de su actividad, proporcionándoles retroalimentación adecuada y facilitando su autonomía creciente;
- la capacidad del experto para transmitir a los novatos expectativas positivas y comunicarles su propia fascinación por la tarea;

- las facilidades de intercambio entre equipos diferentes;
- la existencia de un clima social que potencie y valore la investigación, etc, etc.

Todos estos factores determinan un clima más o menos favorable para el desarrollo de la investigación científica y cabe preguntarse si jugarán un papel igualmente determinante en un aprendizaje de las ciencias concebido como investigación. Tal vez conviene situar esta cuestión en una perspectiva más amplia y plantearse:

¿Cuáles pueden ser los factores que ejercen una influencia determinante en el aprendizaje de las ciencias y explican el éxito o fracaso de alumnos y alumnas?

Cuando se plantea al profesorado de ciencias una cuestión como la anterior, los tres factores que son señalados con porcentajes más elevados son la influencia del medio sociocultural en que vive el alumno, su mayor o menor capacidad intelectual y su actitud hacia el aprendizaje de las ciencias; las referencias a la influencia de la propia escuela, en cambio, son muy escasas. Estudios diversos (Astudillo et al 1988) muestran que, en efecto, el profesorado atribuye espontáneamente el éxito o el fracaso escolar a factores externos a la escuela, particularmente, repetimos, al ambiente familiar, a la capacidad intelectual y a la actitud negativa de los alumnos (consideradas como algo fijo, predeterminado). Naturalmente hay hechos que apoyan aparentemente estas conclusiones: ¿acaso un profesor no explica por igual a todos los alumnos y, en cambio, unos aprenden y otros no? Hay que rendirse a la «evidencia» —se dice— y reconocer que muchos alumnos y alumnas, ya sea debido a una escasa inteligencia, ya sea a causa del medio sociocultural —que ejerce una influencia determinante durante los primeros años de vida— tendrán serias dificultades de aprendizaje. Las ciencias y las matemáticas, además, son materias particularmente complejas que no están al alcance de todo el mundo.

¿Qué dice a este respecto la investigación? Numerosos estudios parecen verificar la concepción espontánea del profesorado de que las diferencias en los logros académicos de los alumnos son primordialmente una función del ambiente socioeconómico del que proceden: «De modo global, dos conclusiones parecían emerger de los estudios llevados a cabo, con gran intensidad, a lo largo de la década de 1960 (y parte de la de 1970). Una es que las diferencias que existen entre las escuelas parecen afectar muy levemente al rendimiento instructivo de los alumnos. Así, pues, todas las escuelas serían igualmente (in)eficaces. La otra es que la institución sería incapaz de vencer las diferencias que afectan a los alumnos de ambientes socioeconómica

y culturalmente deprimidos, no logrando que los alumnos pobres alcancen niveles educativos correspondientes a los alumnos de las clases medias» (Rivas 1986). Toda una serie de estudios (Coleman et al 1966; Averch et al 1972) parecían converger en negar incidencia real a la escuela, reforzando así, repetimos, las concepciones espontáneas de muchos profesores. Ello supone, sin duda, un serio revés para nuestra concepción del aprendizaje de las ciencias como investigación que atribuye, como ya hemos señalado, una influencia determinante a factores como el clima del centro y del aula. Sin embargo, si se miran más de cerca esas investigaciones, puede constatararse que responden a una tesis subyacente aceptada acríticamente: la de que la posible influencia de la escuela se mediría esencialmente por los recursos escolares «tales como diferencias en el tamaño de las clases, cantidad de libros de la biblioteca escolar, la “longitud” de la formación de los profesores, los años de su experiencia docente, sus retribuciones económicas, etc» (Rivas 1986). Los resultados de dichas investigaciones sólo invalidaban, pues, esa tesis de la influencia determinante de los recursos escolares, pero quedaba en pie la cuestión de si otros factores —los procesos psicosociales, el clima de trabajo, ...— jugaban o no un papel relevante. De hecho se conocían ejemplos de centros escolares que «funcionaban bien», es decir, que tenían una eficacia muy superior a la media para lograr que los alumnos —incluso aquellos de medios socioculturales desfavorecidos— adquirieran las competencias consideradas básicas.

Surgió así una nueva corriente de investigación denominada *effective school research* con un enfoque muy distinto, consistente en detectar un número suficientemente elevado de centros que funcionaran bien, estudiar sus características (con la hipótesis de que existirían algunas comunes que explicarían los mejores logros de los estudiantes) y derivar, a partir de las mismas, acciones innovadoras aplicables a la generalidad de los centros. Los resultados de dicha investigación —que se ha desarrollado a lo largo de las dos últimas décadas— han sido del mayor interés, revelando la existencia de algunos factores de eficacia escolar:

Proponer, a título de hipótesis, posibles características de un centro escolar eficaz.

Rivas (1986) ha sintetizado los resultados de veinte años de investigación, destacando una serie de factores de eficacia escolar que pueden agruparse en torno al clima del aula y del centro. Nos referiremos en primer lugar a las *altas expectativas* que los profesores de los centros eficaces poseen y transmiten a sus alumnos. Esta influencia de las expectativas del profesorado ha sido puesta en evidencia

por investigaciones muy diversas: podemos recordar, por ejemplo, el conocido «efecto Pigmalión» (Rosenthal y Jacobson 1968) consistente en indicar a los profesores los nombres de algunos alumnos especialmente dotados según los tests de inteligencia, pero en realidad escogidos completamente al azar: dichos alumnos hicieron progresos notables y objetivamente superiores al resto de sus compañeros.

Un estudio más reciente (Spears 1984) ha revelado el peso de las expectativas del profesorado en las diferencias de logro entre alumnos y alumnas en asignaturas como la física. Estas diferencias han sido reiteradamente señaladas y han dado lugar a una línea de investigación sobre el sexismo en la enseñanza de las ciencias. El estudio de Spears a que nos referimos consistió en proponer la corrección de un cierto número de ejercicios a 306 profesores de Enseñanza Media con objeto de que evaluaran toda una serie de aspectos: nivel, precisión científica, aptitud para la ciencia, ... Cada ejercicio fue presentado al 50% de los profesores como realizado por un alumno y al otro 50% como obra de una alumna. Los resultados muestran claramente que los mismos ejercicios eran calificados más altos cuando eran atribuidos a chicos y que los profesores valoraban más positivamente la capacidad de los «varones» para proseguir estudios científicos. Estos resultados llevan lógicamente a preguntarse si las diferencias de logro detectadas por numerosas investigaciones entre chicos y chicas no serán debidas a los juicios y expectativas del profesorado, que refuerzan idénticas presiones del medio social. Y cabe también preguntarse si la escuela no será igualmente responsable, al menos en parte, de las diferencias entre alumnos procedentes de medios socioculturales favorecidos y desfavorecidos.

Por nuestra parte, hemos realizado un estudio similar (Aguilà et al 1988) consistente en solicitar la corrección de un mismo ejercicio a distintos profesores, pero dando a entender en unos casos que correspondía a un alumno brillante y en otros a un alumno mediocre. La nota media del alumno «brillante» fue superior en cerca de dos puntos (sobre 10) a la del «mediocre». Resultados como éste no sólo prueban la extraordinaria influencia de las expectativas del profesor —y de las que logra generar en los alumnos (Hasan 1985; Simpson y Oliver 1990)— sino que muestran hasta qué punto es falsa la creencia ingenua de que las diferencias en los logros de los alumnos se explican por su distinta capacidad o por su origen sociocultural: es cierto que el profesor puede apreciar diferencias reales en la comprensión, actitud hacia el aprendizaje, etc, de sus alumnos; pero lo realmente importante no son esas diferencias iniciales, sino las distintas expectativas que ello produce en el profesorado. La creencia profunda, fruto de innumerables «evidencias» parece ser: no todos los alumnos pueden tener éxito; a partir de ahí las observaciones ini-

ciales permiten distinguir los «buenos» de los «malos» alumnos, generando expectativas que se traducen en retroalimentaciones selectivas que apoyan al alumno que va bien y rechazan o ignoran al que va mal. Los resultados, en general, terminan ajustándose a las expectativas. Por el contrario, si el profesor adquiere el convencimiento de que la mayoría de los alumnos pueden tener éxito —contando con la ayuda necesaria— su retroalimentación será sistemáticamente positiva para todos los alumnos y los resultados, en general, terminan siendo positivos también. Esto es precisamente lo que se ha constatado en las escuelas eficaces y lo que cabe esperar de un «director de investigaciones»: el apoyo a cada uno de los investigadores, transmitiéndoles expectativas positivas y proporcionándoles la ayuda necesaria para que esas expectativas se conviertan en realidad.

Un segundo factor de eficacia escolar que puede incluirse en el clima del aula, puesto de relieve por la *effective school research* es el *tiempo escolar de aprendizaje*, entendiendo por tal, como precisa Rivas, el que corresponde a una activa implicación del alumno en las tareas, siempre que éstas estén adecuadamente programadas para producir una notoria proporción de éxitos. De nuevo esto contrasta con lo que ocurre en la enseñanza habitual, pero es coherente con el modelo de aprendizaje de las ciencias como investigación: en efecto, un buen director intentará programar el trabajo de los investigadores —teniendo en cuenta niveles de dificultad, dosificación, etc— y proporcionará la ayuda que estos precisen (¡pero no más!) para que se produzca un adecuado progreso en la tarea. En este sentido cobra toda su importancia la organización de la clase en equipos de trabajo y la facilitación de los intercambios entre los equipos a que nos hemos referido en el capítulo anterior.

Un ambiente ordenado de disciplina compartida constituye otro de los rasgos que caracterizan a las escuelas efectivas. No se trata, como señala Ausubel «de sometimiento explícito a la autoridad ni de hábitos implícitos de obediencia (...) la buena disciplina es ordinariamente un producto derivado y natural de lecciones interesantes y de una saludable relación entre maestro y alumno» (Ausubel 1978, capítulo 14). La implicación de los alumnos en tareas interesantes, los progresos en dichas tareas y la valoración positiva que ese trabajo recibe constituyen los requisitos para un ambiente de trabajo ordenado y distendido, más próximo, una vez más, de un centro de investigación que de esas aulas en las que se percibe «una atmósfera de control (...) que el profesor mantiene con grandes y deliberados esfuerzos» (Ausubel 1978) como corresponde a una situación de «trabajos forzados».

Otra característica especialmente relevante de las escuelas eficaces es la continua retroalimentación que los profesores proporcionan so-

bre los progresos en las tareas, siempre desde la óptica de una valoración positiva, de una ayuda. Todos estos factores de eficacia escolar en torno al clima del aula pueden interpretarse coherentemente como implicaciones del modelo de aprendizaje de las ciencias como investigación. Algunos de dichos factores —ambiente ordenado de trabajo, autodisciplina compartida, etc— son igualmente válidos en lo que se refiere al clima del centro, pero, como es lógico, este tiene sus exigencias propias que son también resaltadas por la *effective school research* y que resultan coherentes con el modelo de aprendizaje de las ciencias que venimos proponiendo.

Destacaremos fundamentalmente dos factores de eficacia escolar relacionados con el clima de centro: en primer lugar, la existencia de un *proyecto de centro*, el establecimiento de un conjunto limitado de objetivos básicos, bien definidos y alcanzables, sobre los que se concentren los esfuerzos de los miembros de la comunidad escolar. Podría entenderse que ello es necesario en la medida en que la educación secundaria no es exclusivamente científica y resulta inevitable alcanzar consensos sobre los objetivos generales de esa educación que impliquen a todo el profesorado. Sin embargo, hay que insistir en que la vinculación del aprendizaje de las ciencias al resto de lo que constituye una amplia preparación cultural es un objetivo de la misma educación científica, que no puede considerarse un compartimento estanco, como reflejan las complejas interacciones ciencia/técnica/sociedad a que nos hemos referido en el apartado anterior.

En estrecha relación con el punto anterior destaca la participación del profesorado de las escuelas eficaces en tareas de (auto)formación-permanente y su *implicación en innovaciones e investigaciones educativas*. Los profesores adquieren así las características de «investigadores en la acción» (Stenhouse 1975) que realizan un trabajo abierto, creativo, que les permite superar el clima de frustración que acompaña a menudo a la actividad docente. Se cierra así el círculo de una serie de factores indudablemente interdependientes: ¿cómo podría pensarse, en efecto, que el aprendizaje de los alumnos tenga las características de una investigación, si la dirección de ese trabajo no constituye para el profesorado una actividad creativa?

La importancia del clima escolar se manifiesta claramente en la serie de factores que hemos comentado, contribuyendo a profundizar, como hemos visto, el modelo emergente de aprendizaje de las ciencias como investigación que comenzamos a configurar en la primera parte de este libro. Abordaremos ahora, para terminar esta segunda parte, la cuestión fundamental de las actitudes de los alumnos hacia el aprendizaje de las ciencias, que constituye hoy una de las líneas prioritarias de investigación, estrechamente relacionada con los factores de eficacia escolar que acabamos de revisar.

CAPÍTULO VI

ACTITUDES HACIA LA CIENCIA Y SU APRENDIZAJE

Una de las razones que se avanzan para explicar los mediocres resultados de muchos alumnos es, como ya señalábamos en el capítulo anterior, su actitud negativa hacia el aprendizaje de las ciencias. Carece de sentido, en efecto, pensar en alumnos implicándose en tareas complejas y exigentes si no se consigue despertar el interés suficiente. Una actitud negativa es interpretada así como el equivalente a una «falta de vocación»: al fin y al cabo no todo el mundo tiene por qué interesarse por las ciencias. El problema, como veremos a continuación, es algo más complejo que la simple constatación de que unos alumnos se interesan y otros no por el mundo de las ciencias.

En 1926, Paul Langevin, en el curso de una conferencia sobre «El valor educativo de la Historia de las Ciencias», afirmaba (Langevin 1926): «En reconocimiento del papel jugado por la ciencia en la liberación de los espíritus y en la afirmación de los Derechos del Hombre, el movimiento revolucionario hace un esfuerzo considerable para introducir la enseñanza de las ciencias en la cultura general y conformar esas humanidades modernas que aún no hemos logrado establecer.» Esta cita puede ser un ejemplo paradigmático de una visión profundamente optimista de la capacidad educativa de las ciencias que era compartida, en general, por todo el movimiento renovador que podemos designar como Escuela Moderna.

Más de medio siglo después, nos encontramos hoy con un evidente aumento del peso de las ciencias en el curriculum de Educación Secundaria. Sin embargo, la actitud hacia la ciencia lograda me-

dian­te dicha en­señanza está muy lejos de las optimistas y aparen­te­mente fundadas pre­vi­sio­nes. La gra­ve­dad del pro­ble­ma es tal, que el estudio de las acti­tudes e intere­ses de los alu­mnos se ha con­ver­tido en una línea prio­ri­taria de in­ves­ti­ga­ción (Gauld y Hukins 1980; Schi­beci 1984; Escudero 1985).

Con­viene de­te­nerse mí­ni­ma­mente en lo que mue­stran estas in­ves­ti­ga­cio­nes. En pri­mer lugar, cabe re­sal­tar que sí exis­te un in­terés ini­cial muy ge­ne­ra­li­za­do entre los alu­mnos más jó­ve­nes por el mun­do de las cien­cias; pero este in­terés de­ce­re no­to­ria y re­gu­lar­mente a lo lar­go del pe­ri­o­do de es­co­larización (James y Smith 1985; Yager y Pe­nick 1986). Por otra parte, nu­me­rosos es­tudios mue­stran una acti­tud ha­cia las cien­cias no­ta­ble­mente más ne­ga­tiva en las alu­mnas, aparen­cien­do esta acti­tud ne­ga­tiva más mar­cada ha­cia las cien­cias fí­sicas que ha­cia las bio­lógicas y au­men­tando las dife­ren­cias entre los sexos con la edad (Erikson y Erikson 1984).

¿Cuáles podrían ser las causas del notable descenso del interés por las ciencias que tiene lugar a lo largo del periodo de escolarización?

Exis­ten, por su­pue­sto, di­ver­sas hipó­te­sis ex­pli­ca­tivas de este he­cho. Cabe su­poner que ello sea el re­sul­ta­do de la di­fi­cul­dad cre­cien­te de los es­tudios a re­a­li­zar en los cursos su­pe­rio­res. Este es el ar­gu­men­to más fre­cuen­te­mente es­grimido por el pro­fe­so­ra­do con­sul­tado, que ha­ce re­fe­ren­cia a la falta de in­terés o ca­pa­ci­dad de mu­chos alu­mnos para re­a­li­zar las ta­reas com­ple­jas que el apren­di­za­je de las cien­cias exi­ge. La obli­ga­to­ri­dad de este apren­di­za­je es im­pli­ci­ta­mente pue­sta en cues­tión al con­si­de­rar ló­gica esta falta de in­terés en una ma­yo­ría de alu­mnos, obli­ga­dos —sin que medie se­lec­ción al­guna— a re­a­li­zar es­tudios cien­tí­ficos. Se cierra así un ver­da­de­ro cír­cu­lo vi­cioso en el que fracaso y acti­tud ne­ga­tiva se po­ten­cian mu­tuamente y los mis­mos ar­gu­men­tos de­ter­mi­nis­tas son uti­li­za­dos para ex­pli­car uno y otra, apun­tando, sobre todo, a la in­fluencia del me­dio ex­te­rior (nivel so­cioe­co­nómico) y mi­ni­mi­zando o in­go­ran­do la in­fluencia de la es­cuela (pe­se a que ni­ños y ni­ñas pa­san hoy, desde muy jó­ve­nes, un tie­mpo con­si­de­rable en ella). Pero ya he­mos visto en el ca­pí­tu­lo an­te­rior que estas con­cep­cio­nes espontáneas, aunque muy ex­ten­di­das, pueden con­si­de­rarse fal­sadas por los re­sul­ta­dos de la *effective school research*. En el caso de las acti­tudes ha­cia el apren­di­za­je de las cien­cias la re­spon­sa­bi­li­dad de la en­señanza es aún más clara y pre­ocupa muy se­ria­mente a quié­nes con­si­de­ran que la edu­ca­ción cien­tífica ha de ser un com­ple­men­to esen­cial de la for­ma­ción cul­tural de los ciu­da­da­nos. Puede con­si­de­rarse es­pe­cial­mente opor­tuna a este res­pec­to la de­nuncia que un editorial del *American Journal of Physics* ha re­a­li­za­do sobre la es­ca­sa pre­o­cu­pa­ción del pro­fe­so­ra­do por es­ti­mu­lar el

interés hacia la ciencia como vehículo cultural (Ridgen 1985). En efecto, cualquier estudiante universitario puede seguir en EEUU, independientemente de su especialidad, cursos de nivel superior en, p.e., Poesía Moderna, Filosofía de la Historia, Teorías del Conocimiento o Arte Barroco, que le ponen en contacto con estudiantes de humanidades, en situación favorable para el intercambio: reducido número de alumnos, elevada preparación del profesorado, etc. La situación es dramáticamente diferente para un estudiante de humanidades que, consciente del impacto que la ciencia ha tenido en el pensamiento humano, desee seguir algún curso de ciencias. Le resultará imposible seguir un curso superior sobre, p.e., la Evolución o la Física Relativista, que no conlleve como prerrequisito haber seguido cursos de introducción a la Biología o a la Física que suelen ser rápidas panorámicas con tratamientos casi exclusivamente operativos, incapaces de transmitir la fascinación que los científicos pueden aportar a sus materias. De este modo no sólo se impide el acceso de los no especialistas, sino que los cursos se vacían de significado y de interés para los propios alumnos de ciencias.

Y no se trata únicamente de un defecto de los currícula universitarios. Los textos de Enseñanza Media muestran con claridad el carácter puramente operativo del tratamiento dado a las ciencias y muy concretamente a la Física y la Química: ya hemos hecho referencia a ello en los capítulos destinados a la introducción de conceptos, trabajos prácticos y resolución de problemas.

Es preciso concluir así que varios años de progresiva implantación de los estudios científicos no han contribuido a conformar esas «Humanidades Modernas» que reclamaba Langevin. En ocasiones, ello se atribuye al escaso interés que para los alumnos puede tener el estudio de materias «abstractas y puramente formales» como Mecánica, Calor, etc. La crítica puede considerarse justa si se refiere a la forma en que la enseñanza habitual presenta estas materias. Pero ¿cómo aceptar que el nacimiento de, p.e., la Mecánica, sea una materia abstracta, puramente formal? Basta asomarse a la historia de esta ciencia, leer, p.e., los Diálogos de Galileo, para darse cuenta del carácter de verdadera aventura —en la que no han faltado ni persecuciones ni condenas—, de lucha apasionada y apasionante por la libertad de pensamiento que el desarrollo de las ciencias ha tenido. La cuestión está, precisamente, en recuperar estos aspectos históricos, de interacción ciencia/sociedad a que nos hemos referido en el capítulo 4 y romper con una tradición empeñada (con éxito) en convertir la enseñanza de las ciencias en pura transmisión dogmática de conocimientos.

La potencialidad motivadora de un aprendizaje de las ciencias así orientado (Holton y Roller 1963; Holton et Al 1982; Matthews 1990)

es muy elevada y contribuye, además, a dar una visión más real, contextualizada, de lo que es el desarrollo científico. Se puede así, por otra parte, salir al paso de un creciente rechazo de la actividad científica. Un rechazo que confunde la ciencia con las consecuencias más negativas del desarrollo social y político (destrucción del medio, carrera armamentista...). Como vimos en el capítulo 4, la discusión del papel social de la ciencia (Aikenhead 1985), del mito de la neutralidad del científico (Schibeci 1986), etc, pueden contribuir a devolver al aprendizaje de las ciencias la vitalidad que tiene el propio desarrollo científico. Pero el aprendizaje de las ciencias puede y debe ser también una aventura en un sentido más profundo: la aventura que supone enfrentarse a problemas abiertos, la búsqueda de soluciones, la constatación de que las propias ideas tienen la validez (¡y los errores!) de las de las construcciones de los científicos, etc. El problema del interés por las ciencias se encuentra así con el de las formas de enseñanza y viene también a apoyar la idea de un aprendizaje como investigación, como tarea abierta y creativa con las características propias del trabajo científico.

Como vemos, el grave problema que representa una actitud hacia la ciencia marcada por el desinterés, cuando no por el rechazo, remite al análisis crítico de la enseñanza de las ciencias que hemos realizado en los capítulos anteriores y a las perspectivas que allí han ido abriéndose. Porque no se trata tan sólo de encontrar explicaciones a las actitudes negativas sino de plantearse qué hacer para generar actitudes positivas —e incluso para producir un *cambio actitudinal*— cuando existen ya actitudes negativas. Se hace necesario, pues, un esfuerzo explícito por contemplar el problema de las actitudes como cuestión fundamental en la planificación del aprendizaje.

El problema de la actitud hacia el aprendizaje de las ciencias impregna todos los aspectos de ese aprendizaje: desde las formas en que se introducen los conceptos o se orientan los trabajos prácticos a los contenidos tratados o el clima de trabajo en el aula. Conviene, pues, realizar un esfuerzo de revisión global para derivar propuestas concretas —tipos de actividad, condiciones de trabajo, etc.— susceptibles de generar actitudes positivas hacia el aprendizaje de las ciencias.

Una reflexión como la que solicita la actividad anterior acerca de lo que se hace y lo que podría hacerse para favorecer una actitud positiva hacia el aprendizaje de las ciencias constituye en nuestra opinión una tarea fundamental. Con objeto de recoger el máximo de propuestas al respecto hemos recurrido a entrevistas, trabajo de equipos de profesores, cuestionarios semiabiertos, etc (Candel, Gil y Soler 1990). Presentamos a continuación un cuestionario —que hemos uti-

lizado ya con algunos centenares de profesores— que propone a la vez una reflexión crítica sobre la enseñanza habitual y un esfuerzo por concebir nuevas formas de favorecer las actitudes positivas. Para finalizar este capítulo sugerimos a los lectores que cumplimenten dicho cuestionario, cotejando así sus propias propuestas con las recogidas en el mismo:

CUESTIONARIO SOBRE LA INFLUENCIA DE DISTINTOS ASPECTOS DEL APRENDIZAJE DE LAS CIENCIAS EN LA ACTITUD DE LOS ALUMNOS

Presentamos aquí un cuestionario que recoge para su valoración, junto a las actividades más usuales de las clases de ciencias, propuestas realizadas por distintos autores. Se solicita asimismo cualquier sugerencia susceptible de favorecer actitudes positivas hacia el aprendizaje de las ciencias. La cumplimentación del cuestionario se efectúa utilizando los dos paréntesis que aparecen en cada ítem:

1. Califica de 0 a 10 —utilizando el primer paréntesis— la validez que puedan tener las actividades y propuestas que se enuncian en los distintos apartados para generar actitudes positivas hacia el aprendizaje de las ciencias
2. Indicar asimismo mediante una puntuación de 0 a 10 —utilizando el segundo paréntesis— la opinión acerca de si dichas actividades tienen una presencia adecuada en las clases de ciencias (10 indicaría que se alcanza o supera la frecuencia deseable para una actividad dada).

A. Contenidos a tratar

- A.1. Los hechos, leyes, principios... que conforman el cuerpo de conocimientos de la ciencia estudiada. () ()
- A.2. Las cuestiones y problemas cuya investigación ha conducido históricamente a la construcción de los conocimientos científicos. () ()
- A.3. Los aspectos metodológicos y epistemológicos asociados a las características del trabajo científico. () ()
- A.4. Las confrontaciones entre distintas concepciones científicas, ideas religiosas, etc. que muestren el carácter conflictivo y apasionante del desarrollo científico. () ()
- A.5. Las implicaciones sociales del desarrollo científico y técnico y, en general, las complejas relaciones Ciencia/Técnica/Sociedad, incluidas las necesarias tomas de decisiones en este campo. () ()
- A.6. Aquellos problemas «frontera» que favorezcan un tratamiento interdisciplinar. () ()
- A.7. Aquellos aspectos de la vida diaria que puedan asociarse fácilmente con la ciencia estudiada. () ()

B. *Resolución de problemas y trabajo de laboratorio*

- B.1. Realizar prácticas de laboratorio siguiendo las indicaciones detalladas que se proporcionan en los textos y libros de prácticas. () ()
- B.2. Resolver los problemas numéricos que incluyen habitualmente los textos. () ()
- B.3. Abordar situaciones problemáticas abiertas como actividades de investigación. () ()

Más concretamente, dicha actividad investigativa —que abarca tanto a las prácticas de laboratorio como a los problemas de lápiz y papel— puede incluir:

- B.4. Acotar y formular problemas precisos a partir de situaciones abiertas. () ()
- B.5. Proponer explicaciones, hacer predicciones, etc; es decir, construir hipótesis fundamentadas sobre cuáles son las magnitudes relevantes y las relaciones entre las mismas. () ()
- B.6. Diseñar estrategias de resolución —experimentos y/o manejo de conocimientos científicos ya establecidos— para contrastar la validez de las hipótesis. () ()
- B.7. Llevar a cabo la estrategia planificada, realizando en su caso los experimentos diseñados, manejando instrumentos científicos, ... () ()
- B.8. Analizar cuidadosamente los resultados cotejándolos con los obtenidos por la comunidad científica, viendo sus implicaciones teóricas y prácticas, las perspectivas abiertas, etc. () ()

C. *Manejo de información*

- C.1. Estudio personal del libro de texto y apuntes de clase. () ()
- C.2. Lectura y discusión de fragmentos del libro de texto. () ()
- C.3. Lectura y discusión de noticias científicas. () ()
- C.4. Lectura y discusión de artículos y/o libros de divulgación científica. () ()
- C.5. Visión y discusión de documentales y filmes sobre temas científicos. () ()
- C.6. Lectura y discusión de fragmentos de memorias, artículos y libros escritos por los propios científicos. () ()
- C.7. Familiarización con el uso de bibliotecas y hemerotecas. () ()

D. *Estilos de trabajo en clase*

- D.1. Sesiones consistentes básicamente en la explicación de los contenidos por el profesor y la toma de notas por los alumnos, quienes pueden interrumpir pidiendo aclaraciones, etc. () ()
- D.2. Sesiones consistentes básicamente en el trabajo de los alumnos, organizados en pequeños grupos, en torno a programas de actividades, con puestas en común bajo la dirección/ayuda del profesor. () ()
- D.3. Sesiones consistentes básicamente en el trabajo del grupo clase, planteando el profesor cuestiones, moderando las intervenciones, etc. () ()

E. *Contactos con el «exterior»*

- E.1. Visitar fábricas, laboratorios, parajes naturales..., viendo como se realiza el trabajo científico y técnico. () ()
- E.2. Trabajar algunos días en una fábrica, laboratorio, un paraje natural, etc, participando en tareas científicas o técnicas. () ()
- E.3. Visitar museos tras una adecuada preparación previa y con aprovechamiento posterior. () ()
- E.4. Recibir en clase la visita de especialistas en algún tema de interés. () ()
- E.5. Realizar intercambios escolares con alumnos de otros grupos y centros, organizando «encuentros científicos», etc. () ()

F. *Elaboración de productos por los alumnos*, destinados a ser presentados, comentados, etc, en la clase y/o a otros colectivos (otras clases, otros centros, público en general).

- F.1. Reelaborar la información obtenida, construyendo esquemas, síntesis, mapas conceptuales, ... () ()
- F.2. Escribir artículos sobre temas científicos. () ()
- F.3. Elaborar posters sobre temas científicos. () ()
- F.4. Organizar colecciones (minerales, plantas, instrumentos, documentos gráficos...). () ()
- F.5. Construir aparatos científicos sencillos, cultivar plantas, etc.

G. *Expectativas y actitud del profesorado*

- G.1. Entusiasmo del profesor/a por la materia e interés por generar el entusiasmo de los alumnos y alumnas. () ()
- G.2. Interés del profesor/a por la docencia como tarea colectiva en una perspectiva explícita de innovación e investigación educativa. () ()
- G.3. Creación por el profesor de un clima de trabajo serio y al mismo tiempo distendido y cordial. () ()
- G.4. Interés del profesor/a por favorecer el éxito de los alumnos y alumnas prestando atención a sus progresos y transmitiéndoles expectativas positivas. () ()

Sugerencias y comentarios

Incluir aquí otras actividades, comportamientos del profesor, etc, que puedan contribuir a generar actitudes positivas hacia el aprendizaje de las ciencias, así como cualquier comentario, crítica o sugerencia que se considere pertinente.

TERCERA PARTE

LA EVALUACIÓN EN LA ENSEÑANZA/APRENDIZAJE DE LAS CIENCIAS

Al recoger en la Introducción de este libro las preocupaciones del profesorado de ciencias acerca de lo que deberían conocer —en el sentido amplio de saber y saber hacer— la evaluación aparecía como un tema prioritario. Ese interés es compartido por los investigadores y diseñadores de curricula, que atribuyen a la evaluación un papel esencial en la enseñanza y el aprendizaje (Ausubel 1978; Gimeno 1982; Satterly y Swann 1988). Los mismos alumnos expresan un elevado interés por este aspecto cuando tienen ocasión de discutir el funcionamiento de una clase. Pero más que de interés habría que hablar de preocupación: para los alumnos constituye un objeto permanente de crítica, al tiempo que sus esfuerzos de aprendizaje se centran exclusivamente en lo que puede ser objeto de examen. Los profesores, por su parte, sienten a menudo condicionada su enseñanza por las pruebas programadas a nivel de centro y, con mayor razón, por los exámenes externos oficiales (Hoyat 1962). Y los investigadores insisten en que las innovaciones en el curriculum no pueden darse por consolidadas si no se reflejan en transformaciones similares en la evaluación (Linn 1987). En efecto, poco importan las innovaciones introducidas o los objetivos enunciados: si la evaluación sigue consistiendo en ejercicios para constatar el grado de asimilación de algunos conocimientos conceptuales, en ello residirá el verdadero objetivo asignado al aprendizaje.

Todo parece indicar que la evaluación es uno de los puntos don-

de más «chirría» el proceso de enseñanza/aprendizaje de las ciencias, o, si se prefiere, donde más claramente se manifiestan sus insuficiencias (Alonso 1990; Serrano 1990). En particular, es quizás el aspecto que establece una línea de confrontación más clara entre profesores y alumnos, contribuyendo a distorsionar el clima del aula. Es también uno de los dominios en el que las ideas y comportamientos docentes «de sentido común» se muestran más persistentes. Comenzaremos, pues, sacando a la luz esas ideas espontáneas, sometiéndolas a una crítica cuidadosa que no acepte nada como obvio y trataremos de utilizar los conocimientos de que disponemos sobre la enseñanza/aprendizaje de las ciencias para concebir una evaluación que se integre coherentemente en dicho cuerpo de conocimientos.

CAPÍTULO VII

1. Las concepciones espontáneas sobre la evaluación

Ya hemos visto a lo largo de este texto la importancia de una reflexión descondicionada que no acepte sin previo análisis crítico «lo que siempre se ha hecho», sobre todo cuando la práctica habitual ha mostrado reiteradamente sus insuficiencias. Conviene, pues, comenzar este estudio de la evaluación sometiendo a crítica nuestras concepciones, con objeto de no quedar prisioneros de ninguna idea o comportamiento «de sentido común»:

Proceder a un análisis detenido de las concepciones habituales sobre la evaluación, con objeto de detectar posibles obstáculos a superar.

Al igual que hemos visto ya con relación a otros temas, una petición explícita a equipos de profesores para que procedan al análisis crítico de las concepciones espontáneas sobre la evaluación se traduce en el cuestionamiento de numerosas ideas que están determinando el comportamiento habitual del profesorado de ciencias, como las que incluimos a continuación:

- Resulta fácil evaluar las materias científicas con objetividad y precisión (debido a la naturaleza misma de los conocimientos evaluados).
- El fracaso de un porcentaje significativo de alumnos es inevitable en materias difíciles como las ciencias, que no están al alcance de todo el mundo. Por ello, un profesor que aprueba

mucho convierte la asignatura en «una maría» que los alumnos no estudian ni valoran. En particular, conviene ser muy exigente al principio del curso para evitar que los alumnos se confíen.

- Una prueba bien diseñada ha de ser discriminatoria y producir una distribución de las notas de tipo gaussiano, centrada en el cinco.
- La función esencial de la evaluación es medir la capacidad y el aprovechamiento de los alumnos, asignándoles una puntuación que sirva de base objetiva para las promociones y selecciones. Frente a esta concepción aparece, en un cierto sector del profesorado, el rechazo de la evaluación como expresión de selección clasista y de autoritarismo.

Analizaremos ahora brevemente estas concepciones:

Sobre la precisión y objetividad de las pruebas cabe decir que los estudios de docimología (Hoyat 1962; López, Llopis et al 1983) han mostrado notables diferencias entre las puntuaciones dadas por distintos profesores a un mismo ejercicio de Física o Matemáticas; y también que las notas que el mismo profesor da a los mismos ejercicios en momentos diferentes (p.e., tras un intervalo de tres meses) pueden sufrir grandes oscilaciones. Mayor importancia tiene aún la enorme influencia de las expectativas del profesor a que nos hemos referido en el capítulo 5: podemos recordar así la investigación realizada por Spears (1984) que muestra cómo un mismo ejercicio es valorado sistemáticamente más bajo cuando es atribuido a una alumna que cuando se supone obra de un alumno; o el «efecto Pígalión», que se traduce en valoraciones netamente más altas de aquellos ejercicios atribuidos a alumnos «brillantes».

Todos estos resultados cuestionan la supuesta precisión y objetividad de la evaluación en un doble sentido: por una parte muestran hasta qué punto las valoraciones están sometidas a amplísimos márgenes de incertidumbre y, por otra, hacen ver que la evaluación constituye un instrumento que afecta muy decisivamente a aquello que pretende medir; dicho de otro modo, los profesores no sólo nos equivocamos al calificar (dando, p.e., puntuaciones más bajas en materias como la Física a ejercicios que creemos hechos por chicas), sino que contribuimos a que nuestros prejuicios —los prejuicios, en definitiva, de toda la sociedad— se conviertan en realidad: las chicas acaban teniendo logros inferiores y actitudes más negativas hacia el aprendizaje de la Física que los chicos; y los alumnos considerados mediocres terminan efectivamente siéndolo. La evaluación resulta ser, más que la medida objetiva y precisa de unos logros, la expresión de unas expectativas en gran medida subjetivas pero con una gran influencia

sobre los alumnos. Sin embargo, un profesor de Física que habrá dedicado bastantes esfuerzos a enseñar lo que son las imprecisiones en los resultados de las medidas, puede dar sin rubor una nota de 4.75. Y puede también, cuando un alumno le hace ver, p.e., que olvidó puntuar algún apartado —lo que supondría subir la nota a, digamos, 5.25— esforzarse en encontrar un fallo, no tenido previamente en cuenta, que obliga a dejar la nota como estaba... o incluso a bajarla. No cabe duda que de este modo el alumno comprenderá lo que quiere decir «objetividad» y podrá apreciar cual es la disposición de ese profesor frente a sus progresos.

Un segundo bloque de preconcepciones subyace, en realidad, tras esa búsqueda de «objetividad» como ya vimos en el capítulo 6: la idea de que sólo una parte de los alumnos está realmente capacitada para seguir con éxito estudios científicos; esa es la razón, por ejemplo, de que una determinada prueba sea considerada tanto mejor diseñada cuanto más se ajustan los resultados a una campana de Gauss con el 5 en el centro (lo que supone, claro está, que el 50% de los alumnos no alcanza el mínimo exigido). Esa es también la razón de que un profesor que apruebe a la mayoría de sus alumnos —en una materia científica, por supuesto— no sea considerado «serio». Son estas expectativas negativas las que determinan en gran medida, lejos de toda objetividad, los resultados del aprendizaje. Conviene llamar la atención, antes de proseguir, sobre el papel *positivo* de las investigaciones que están ayudando a sacar a la luz estas preconcepciones y su influencia: en la misma medida en que se comprende el efecto negativo que determinadas expectativas ejercen, se abre la vía a concepciones y comportamientos de sentido contrario. Los resultados de la *effective school research* (ver capítulo 5) son una buena muestra de lo que ocurre cuando las habituales expectativas negativas dejan paso a la convicción de que la generalidad de los alumnos puede tener éxito si son debidamente ayudados.

Hemos dejado para último lugar la consideración del papel de la evaluación en el proceso de enseñanza/aprendizaje. Ésta no es una cuestión que los profesores de ciencias suelen plantearse explícitamente, y cuando ello ocurre es en relación con el papel selectivo del sistema educativo: la evaluación en la enseñanza ordinaria suele ajustarse, efectivamente, a la constatación del «aprovechamiento» del alumno, asignándole una calificación que pretende servir de base objetiva para su promoción. Frente a ello se han elevado voces críticas contra la excesiva atención a la medida y a los resultados numéricos —preconizando aproximaciones más cualitativas que ayuden a comprender lo que ocurre (Parlett y Hamilton 1972)— llegando incluso a rechazar toda evaluación por considerarla una expresión de selección clasista y del autoritarismo de la institución escolar. Conviene,

por supuesto, plantearse con la máxima atención —a la luz del cuerpo de conocimientos que hemos ido estableciendo hasta aquí— esta cuestión clave de las funciones de la evaluación, rompiendo así con las concepciones espontáneas que acabamos de analizar someramente.

¿Cuáles podrían ser las funciones de la evaluación en una perspectiva coherente con las orientaciones constructivas sobre la enseñanza/aprendizaje de las ciencias?

Desde la concepción del aprendizaje que venimos desarrollando y fundamentando es difícil encontrar funcionalidad a una evaluación consistente en el enjuiciamiento «objetivo» y terminal de la labor realizada por cada alumno. Por el contrario, como formador de investigadores novatos, el profesor ha de considerarse corresponsable de los resultados que estos obtengan: no puede situarse frente a ellos, sino con ellos; su pregunta no será «quién merece una valoración positiva y quién no», sino «qué ayudas precisa cada cual para seguir avanzando y alcanzar los logros deseados». Sabe que para ello son necesarios un seguimiento atento y una retroalimentación constante que reoriente e impulse la tarea. Eso es lo que ocurre en los equipos de investigación que funcionan correctamente y eso es lo que tiene sentido también, en nuestra opinión, en una situación de aprendizaje creativo, orientada a la construcción de conocimientos, a la investigación. Los alumnos han de poder cotejar sus producciones con las de otros equipos y —a través del profesor/director de investigaciones— con el resto de la comunidad científica; y han de ver valorado su trabajo y recibir la ayuda necesaria para seguir avanzando, o para rectificar si necesario. Este tipo de evaluación «formativa» (Novak 1982; Coll 1987) es consustancial con cualquier tarea que tenga aspiración científica y debe formar parte, pues, del proceso de enseñanza/aprendizaje de las ciencias. Pero se trata de algo muy distinto de un «empleo mediocre y autoritario de las técnicas evaluativas (que) puede alentar la aceptación acrítica de las ideas, reprimir la originalidad y generar niveles de ansiedad, competitividad y tensión interpersonal» (Ausubel 1978). Por el contrario, se trata de concebir y utilizar la evaluación como instrumento de aprendizaje que permita suministrar retroalimentación adecuada a los alumnos... y al propio profesor, contribuyendo a la mejora de la enseñanza. A continuación, intentaremos profundizar en este doble aspecto.

2. La evaluación como instrumento de aprendizaje

Atribuir a la evaluación el papel de instrumento de aprendizaje exige

romper con bastantes de las concepciones de sentido común que hemos analizado en el apartado anterior y modificar sus características:

¿Cuáles habrían de ser las características de la evaluación para que se convierta en un instrumento de aprendizaje?

1. Una primera característica que ha de poseer la evaluación para jugar un papel orientador e impulsador del trabajo de los alumnos es que pueda ser percibida por estos como ayuda real, generadora de expectativas positivas. El profesor ha de lograr transmitir su interés por el progreso de los alumnos y su convencimiento de que un trabajo adecuado terminará produciendo los logros deseados, incluso si inicialmente aparecen dificultades. Se precisa un esfuerzo especial para dar a muchos alumnos la seguridad de que pueden llegar a hacer bien las cosas. Para ello conviene una planificación muy cuidadosa de los inicios del curso, comenzando con un ritmo pausado, revisando cuidadosamente los pre-requisitos (para que no se conviertan, como a menudo ocurre, en obstáculo), planteando tareas simples, etc. Es preciso ser consciente de que unos primeros resultados negativos no sólo generan expectativas negativas en muchos profesores que «condenan» literalmente a los alumnos implicados, sino que para estos mismos alumnos constituyen, en general, un refuerzo negativo que les induce a abandonar, a adoptar una actitud de rechazo y de mínimo esfuerzo. Hay que evitar esto con todo tipo de ayuda: comenzar con la manifestación explícita y convencida de que los resultados «negativos» no son tales, sino que sirven para detectar las insuficiencias a cubrir; seguir con sobreenseñanza, trabajo con otros compañeros, etc., y terminar con la realización de nuevas pruebas que muestren los progresos conseguidos. Algunos profesores pueden pensar que ello ha de traducirse en pérdidas de tiempo que perjudicarán a los alumnos bien preparados cuyo derecho a aprender no debe ser ignorado. Pero, en realidad, lo que sucede es todo lo contrario: esta aparente pérdida de tiempo inicial permite romper con la rémora que supone a lo largo del curso la existencia de un núcleo importante de alumnos que «no siguen». Se produce así un progreso global favorable *también* para los alumnos mejor preparados. Todo esto, por supuesto, debe ser explicitado para evitar inquietudes y tensiones innecesarias y transmitir, en definitiva, expectativas positivas a *todos* los alumnos. (Ver a este respecto los capítulos 5 y 6 sobre el clima del aula y las actitudes de los alumnos.)
2. Una segunda característica que ha de poseer la evaluación para que pueda jugar su función de instrumento de aprendizaje es su extensión a todos los aspectos —conceptuales, procedimentales y ac-

titudinales— del aprendizaje de las ciencias, rompiendo con su habitual reducción a aquello que permite una medida más fácil y rápida: la rememoración repetitiva de los «conocimientos teóricos» y su aplicación igualmente repetitiva a ejercicios de lápiz y papel. Se trata de ajustar la evaluación —es decir, el seguimiento y la retroalimentación— a las finalidades y prioridades establecidas para el aprendizaje de las ciencias. Sin caer en taxonomías muy pormenorizadas de objetivos operativos (Bloom, Hastings y Madaus 1975) —expresión de orientaciones conductistas hoy claramente en retroceso (Gimeno 1982)— es necesario tener presente los grandes objetivos de la educación científica y los obstáculos a superar (Martinand 1986) para hacer posible los cambios conceptuales, metodológicos y actitudinales que esa educación entraña. La evaluación se ajusta así a unos criterios explícitos de logros a alcanzar por los estudiantes, al contrario de lo que ocurre con la evaluación atendiendo a la «norma» (basada en la comparación de los ejercicios para establecer los «mejores», los «peores» y el «término medio») a la que habitualmente se ajusta, más o menos conscientemente, gran parte del profesorado. Las ventajas de la evaluación basada en criterios de aprendizajes a lograr, sobre la evaluación atendiendo a la norma han sido señaladas por diversos autores (Satterly y Swann 1988):

- Al establecer criterios de actuación específicos y explícitos se facilita una fijación de objetivos mucho más clara para los estudiantes y para los profesores.
- La comparación del trabajo de los estudiantes con criterios específicos permite un mejor diagnóstico de sus dificultades.
- El dominar un criterio estimula el aprendizaje por sí mismo y anima a los estudiantes a «competir» contra sus propias actuaciones anteriores, en vez de hacerlo contra otros estudiantes en un proceso en el que un 50% está condenado a obtener puntuaciones por debajo de la norma.
- La evaluación referida a criterios permite reconocer los progresos de todos, no sólo los de unos pocos estudiantes afortunados.

Por otra parte, es preciso no olvidar, a la hora de fijar los criterios, que sólo aquello que es evaluado es percibido por los alumnos como realmente importante. Es necesario, además, ampliar la evaluación más allá de lo que supone la actividad individual de los alumnos: la evaluación de aspectos como el clima de la clase, el funcionamiento de los pequeños grupos, las intervenciones del

profesor, etc, contribuyen a romper con la concepción de la evaluación como simple enjuiciamiento de los alumnos y a hacer sentir que realmente se trata del seguimiento de una tarea colectiva para incidir positivamente en la misma.

La aceptación de la evaluación como algo necesario para alcanzar los objetivos asumidos se ve favorecida si se comienza evaluando aspectos distintos de la actividad individual (funcionamiento de los pequeños grupos, intervenciones del profesor, etc.), si se valora todo aquello que los alumnos hacen (desde un poster confeccionado en equipo al cuaderno personal de clase...) además de los resultados de las pruebas, y si los alumnos participan en la regulación de su propio proceso de aprendizaje (Linn 1987; Baird 1988; Alonso 1990) dándoles oportunidad de reconocer y valorar sus avances, de rectificar sus ideas iniciales, de aceptar el error como inevitable en el proceso de construcción de conocimientos. Ello no quiere decir —como a veces temen algunos profesores— que se dé menos importancia a los conocimientos y destrezas que cada alumno ha de adquirir: por el contrario, se trata de favorecer al máximo dicha adquisición; se evalúan aspectos como el clima del aula o el funcionamiento de los pequeños grupos, no para esconder —tras una nebulosa valoración global— lo que cada alumno ha logrado aprender, sino para favorecer el progreso de todos y cada uno de los alumnos, que han de tener ocasión, por supuesto, de percibir su avance personal. Pero esto nos remite a las formas de la evaluación que abordaremos en el próximo apartado. Antes, sin embargo, nos referiremos a una última característica que la evaluación debería poseer:

3. Si aceptamos que la cuestión esencial no es averiguar quiénes son capaces de hacer las cosas bien y quiénes no, sino lograr que la gran mayoría consiga hacerlas bien, es decir, si aceptamos que el papel fundamental de la evaluación es incidir positivamente en el proceso de aprendizaje, es preciso concluir que ha de tratarse de una evaluación a lo largo de todo el proceso y no de valoraciones terminales. Ello no supone —como a menudo interpretan los profesores y los propios alumnos— parcializar la evaluación realizando pruebas tras periodos más breves de aprendizaje para terminar obteniendo una nota por acumulación (Satterly y Swann 1988) sino, insistimos, integrar las actividades evaluadoras a lo largo del proceso con el fin de incidir positivamente en el mismo, dando la retroalimentación adecuada y adoptando las medidas correctoras necesarias (Colombo, Pesa y Salinas 1986). Es cierto que cinco pruebas, aunque tengan un carácter terminal —tras la enseñanza de un determinado dominio— es mejor que una sola al final del curso; al menos habrán contribuido a impulsar un estudio más re-

gular evitando que se pierdan todavía más alumnos; pero su incidencia en el aprendizaje sigue siendo mínima, o, peor aún, puede producir efectos distorsionantes. En efecto, a menudo la materia evaluada ya no vuelve a ser tratada, por lo que los alumnos que superaron las pruebas pueden llegar al final del curso habiendo olvidado prácticamente todo lo que estudiaron, teniendo conocimientos incluso más escasos que quienes fracasaron inicialmente y se vieron obligados a revisar por su cuenta. Se acentúa así, además, la impresión de que no se estudian las cosas para adquirir unos conocimientos útiles e interesantes, sino para pasar unas pruebas. Es importante a este respecto ser conscientes de las leyes del olvido y planificar revisiones/profundizaciones de aquello que se considere realmente importante, para que los alumnos afiancen dichos conocimientos aunque ello obligue, claro está, a reducir el curriculum eliminando aspectos que, de todas formas, serían mal aprendidos y olvidados muy rápidamente.

3. Actividades de evaluación

Vistas las características fundamentales que una evaluación habría de poseer para convertirse en un instrumento eficaz de aprendizaje, conviene ahora detenerse en considerar las formas concretas de realizar dicha evaluación:

Concebir formas concretas de evaluación que permitan incidir positivamente en el aprendizaje de las ciencias.

Cabe decir en primer lugar que una orientación constructivista del aprendizaje permite que cada actividad realizada en clase por los alumnos constituya una ocasión para el seguimiento de su trabajo, la detección de las dificultades que se presentan, los progresos realizados, etc. Ésta es una forma de evaluación extraordinariamente eficaz para incidir «sobre la marcha» en el proceso de aprendizaje, que se produce además en un contexto de trabajo colectivo, sin la interferencia de la ansiedad que genera una prueba. Ello no elimina, sin embargo, la necesidad de pruebas individuales que permitan constatar el resultado de la acción educativa en cada uno de los alumnos y obtener información para reorientar convenientemente su aprendizaje. A tal efecto, consideramos muy conveniente la realización frecuente de pequeñas pruebas en la mayoría de las clases sobre algún aspecto clave de lo que se ha venido trabajando. Ello permite:

- (a) impulsar al trabajo diario y comunicar seguridad en el propio esfuerzo;

- (b) dar información al profesor y a los alumnos sobre los conocimientos que se poseen, sobre las deficiencias que se hayan producido —haciendo posible la incidencia inmediata sobre las mismas— y sobre los progresos realizados, contribuyendo así a crear expectativas positivas;
- (c) reunir un número elevado de resultados de cada alumno reduciendo sensiblemente la aleatoriedad de una valoración única.

El contenido de estas pruebas y de toda la evaluación ha de remitir, claro está, a todos los aspectos —conceptuales, procedimentales y actitudinales— del aprendizaje de las ciencias, siendo necesario un esfuerzo particular para romper, como señalábamos en el apartado anterior, con la habitual reducción de las evaluaciones a los aspectos conceptuales. Digamos para terminar que conviene discutir inmediatamente las posibles respuestas a la actividad planteada, lo que permitirá conocer si la clase está o no preparada para seguir adelante con posibilidades de éxito. Se favorece así la participación de los alumnos en la valoración de sus propios ejercicios, es decir, su autorregulación, pudiéndose aprovechar también esta discusión como introducción al trabajo del día, centrando la atención de los alumnos de una forma particularmente efectiva.

Pese al interés y efectividad de estas pequeñas pruebas consideramos que los exámenes o pruebas más extensas siguen siendo necesarios. Es cierto que el examen es visto a menudo como simple instrumento de calificación de los alumnos, siendo criticado a justo título por lo que supone de aleatoriedad, tensión bloqueadora, etc. Sin embargo, un examen, o si se prefiere un ejercicio global, es también ocasión de que el alumno se enfrente con una tarea compleja y ponga en tensión todos sus conocimientos (Hoyat 1962). Por nuestra parte, asumiendo la crítica al examen como instrumento exclusivo de calificación, queremos referirnos a su papel como ocasión privilegiada de aprendizaje si se cumplen algunas condiciones:

- En primer lugar es necesario que el examen suponga la culminación de una revisión global de la materia considerada, incluyendo actividades coherentes con un aprendizaje por construcción de conocimientos: desde análisis cualitativos de situaciones abiertas al tratamiento de las relaciones ciencia/técnica/sociedad; desde la construcción y fundamentación de hipótesis —más allá de las evidencias de sentido común— a la interpretación de los resultados de un experimento, etc, etc.
- En segundo lugar, es también necesario que el examen sea devuelto corregido lo antes posible y se discutan, cuestión por

cuestión, las posibles respuestas, los errores aparecidos, la persistencia de preconcepciones, etc. Los alumnos, con su examen delante, se mantienen abiertos y participativos como nunca en estas sesiones que constituyen actividades de autorregulación muy eficaces.

- Es muy conveniente, tras esta discusión, solicitar de los alumnos que rehagan de nuevo el examen en su casa con todo cuidado y vuelvan a entregarlo. Ello contribuye muy eficazmente a afianzar lo aprendido, como puede constatarse en los días siguientes con la realización de pequeños ejercicios sobre los aspectos que hubieran planteado más dificultades.
- También es necesario que las condiciones de realización del examen sean compatibles con lo que supone una construcción de conocimientos —que conlleva tentativas, rectificaciones, etc— y, en particular, que los alumnos no se vean constreñidos por limitaciones de tiempo que sólo son compatibles con la simple regurgitación de conocimientos memorizados (Alonso 1990).

Hemos de insistir, para terminar, en que los alumnos han de ver debidamente valoradas todas sus realizaciones —desde la construcción de un instrumento a su cuaderno de clase— y no solamente aquellas planteadas como pruebas. Así se incrementa la información disponible para valorar y orientar adecuadamente el aprendizaje de los alumnos y se contribuye a que estos vean reconocidos todos sus esfuerzos con el consiguiente efecto motivador.

4. La evaluación como instrumento de mejora de la enseñanza

Aunque la concepción de la evaluación como instrumento de aprendizaje —sustituyendo a la de juicio terminal sobre los logros de los alumnos— representa un indudable progreso, éste resulta insuficiente si no se contempla también como un instrumento de mejora de la enseñanza. En efecto, las disfunciones en el proceso de enseñanza/aprendizaje no pueden atribuirse exclusivamente a dificultades de los alumnos y resultará difícil que los alumnos no vean en la evaluación un ejercicio de poder irracional si sólo se cuestiona su actividad. Si realmente se pretende hacer de la evaluación un instrumento de seguimiento y mejora del proceso, es preciso no olvidar que se trata de una actividad colectiva, de un proceso de enseñanza/aprendizaje en el que el papel del profesor y el funcionamiento del centro constituyen factores determinantes. La evaluación ha de permitir, pues, incidir en los comportamientos y actitudes del profesorado. Ello supone

que los alumnos y alumnas tengan ocasión de discutir aspectos como el ritmo que el profesor imprime al trabajo o la manera de dirigirse a ellos. De esta forma aceptarán mucho mejor la necesidad de la evaluación que aparecerá realmente como un instrumento de mejora de la actividad colectiva.

Puede ser útil recapitular los aspectos de la actividad del profesor que conviene someter a una evaluación formativa:

*Enumerar aquellos aspectos de la actividad del profesor que conven-
dría someter a la evaluación de los alumnos y/u otros profesores.*

Nos remitimos aquí a la síntesis presentada en la introducción sobre «lo que los profesores de ciencias hemos de saber y saber hacer» y al tratamiento más detenido que hemos realizado de dichos aspectos en el resto de los capítulos. Añadiremos simplemente que la participación de los alumnos en esta evaluación —construyendo para ello cuestionarios adecuados (Carrascosa et al 1991)— resulta del mayor interés y que sus valoraciones son coherentes con los resultados de la investigación didáctica en cuanto a las actividades y comportamientos del profesorado favorables para el aprendizaje y actitudes de los alumnos.

Por otra parte, conviene recordar que la idea de un aprendizaje de las ciencias como investigación dirigida es solidaria de la concreción del currículum en programas de actividades a través de los cuales los alumnos puedan construir conocimientos y adquirir habilidades y actitudes. Nada garantiza, sin embargo, que las actividades diseñadas sean adecuadas y conduzcan a los resultados previstos. Será necesario, pues, que la evaluación se extienda a los programas de actividades e implique a los equipos de profesores en una tarea de revisión permanente del currículum que adquiere las características de una investigación (Furió y Gil 1978; Driver y Oldham 1986). Ello nos remite a esa actividad fundamental que es el diseño curricular, a la que dedicaremos los próximos tres capítulos.

Terminaremos aquí, pues, estas reflexiones sobre la evaluación, que nos han permitido un replanteamiento de su función y formas habituales así como su integración coherente en el modelo de enseñanza/aprendizaje de las ciencias como investigación que hemos venido desarrollando.

CUARTA PARTE

DISEÑO DE UN CURRÍCULUM DE CIENCIAS PARA LA EDUCACIÓN SECUNDARIA OBLIGATORIA

Todo el trabajo de investigación e innovación didáctica que hemos intentado reflejar y propiciar en los capítulos precedentes ha de tener su concreción en el diseño de currícula que integren las distintas aportaciones. Es, además, en el aula, en el trabajo directo con los alumnos, en las actividades que realmente se llevan a cabo, donde puede comprenderse plenamente el alcance e interés de las propuestas transformadoras. Dedicaremos, pues, este capítulo al diseño del currículum de ciencias para la Educación Secundaria Obligatoria (12-16 años).

Plantaremos en primer lugar algunas *opciones básicas* para la confección de un currículum de ciencias. A continuación, y tomando como referencia el *Diseño Curricular Base* (MEC 1989) —marco en el que se concreta hoy en nuestro país la participación del profesorado en las cuestiones curriculares— introduciremos una posible secuenciación de los contenidos en la Educación Secundaria obligatoria. Por último abordaremos el diseño de unidades didácticas concretas.

Esperamos mostrar así, una vez más, la coherencia global de los análisis realizados en los capítulos precedentes, así como la aplicabilidad de las propuestas elaboradas.

CAPÍTULO VIII

ALGUNAS OPCIONES BÁSICAS EN EL DISEÑO DE UN CURRÍCULUM DE CIENCIAS

Habitualmente el currículum desarrollado por un profesor queda determinado por el libro de texto que utiliza, asumiendo implícitamente —y, a menudo, inconscientemente— los objetivos de los autores del texto y aceptando del mismo modo sus orientaciones. Como señalan Yager y Penick (1983) toda la capacidad de opción del profesorado parece reducirse, en general, a la elección de un texto. Resultado de esta postura profundamente acrítica ha sido el fracaso de los intentos de renovación de los currícula de ciencias ensayados en diversos países; en efecto, muy a menudo las transformaciones se han limitado a una simple modificación del temario (Krasilchik 1979), que los profesores han impartido siguiendo la misma metodología a la que estaban habituados. A ello ha contribuido la escasa participación del profesorado en el establecimiento de los nuevos currícula, elaborados en general siguiendo el modelo conocido como «linear-expert» (McDonald 1975), consistente en reuniones de expertos que, en períodos generalmente muy breves —y sin apenas implicar a los diferentes colectivos— establecen unos currícula consistentes en algunas consideraciones generales, seguidas de simples listas de contenidos conceptuales en las que cada experto ha tratado de incluir los temas que cree fundamentales. El resultado es un temario inabordable por su excesiva extensión y carente de toda coherencia interna (Carras-cosa, Furió y Gil 1984).

Salir al paso de tales resultados exige una elaboración mucho más

cuidadosa y detenida, que tome en consideración las adquisiciones de la investigación educativa. Y es preciso, además, que dicho proceso contemple desde el primer momento la más amplia participación del profesorado, sin la cual no puede pensarse en una correcta asunción y aplicación del curriculum elaborado (Tall 1981; Coll 1989; Gimeno 1989).

Este trabajo del profesorado en torno a los currícula no sólo es necesario durante los periodos de modificación de los mismos, sino que constituye una tarea fundamental de los equipos docentes, sin la cual, repetimos, los profesores se ven condenados a asumir inconscientemente los currícula de los textos, a menudo reducidos a un cúmulo inabordable de contenidos.

El trabajo que proponemos comienza por la búsqueda de criterios explícitos que puedan orientar la elaboración del curriculum de Ciencias de la Naturaleza en la Educación Secundaria Obligatoria:

Enumerar aspectos básicos que convenga considerar en la confección de un curriculum de ciencias de la naturaleza para la educación secundaria obligatoria. Dicho de otra forma: enumerar aspectos debatables sobre los que los profesores hayan de tomar decisiones.

Una tarea como ésta de establecer criterios explícitos para la confección de un curriculum, cuando se plantea a equipos docentes, suele conducir a criterios que coinciden básicamente con los que encontramos en la literatura y que resumimos a continuación:

1. Nos referiremos, en primer lugar, al problema de la *obligatoriedad o no del curriculum*. Los currícula españoles o franceses, por ejemplo, se han caracterizado siempre por su absoluta obligatoriedad. Pero existen otras opciones (La Pensée 1981), como la aplicada en ciertos estados de la Alemania Federal, consistente en hacer públicas unas recomendaciones básicas y dejar libertad para que cada profesor o grupo de profesores determine, justificadamente, su propio curriculum. Actualmente, en Gran Bretaña, se ha propuesto un sistema intermedio consistente en fijar unos contenidos mínimos —un «core»— que solo cubre entre un 40% y un 60% del tiempo disponible y dejar libertad para que cada profesor determine justificadamente el resto del curriculum.
2. El problema de la obligatoriedad que acabamos de presentar está ligado al de la *extensión y profundidad* del mismo, cuestión que ha merecido reiteradamente la atención de los organismos educativos internacionales: vease, por ejemplo, las recomendaciones de las Conferencias Internacionales de Instrucción Pública de 1958 y 1960 (Piaget 1969). Y de nuevo este problema se relaciona con el

del carácter cíclico o no de la enseñanza: ¿se han de estudiar o no algunos temas repetidamente en cursos sucesivos con profundidad creciente? ¿por qué razones?

3. Otro aspecto que ha sido ampliamente debatido es el de la *importancia relativa de los conocimientos conceptuales y metodológicos*, así como las relaciones entre ambos. Se trata de una cuestión que hemos discutido ampliamente en los capítulos 1, 2 y 3 y que afecta al papel de los trabajos prácticos, resolución de problemas, etc. Una de las críticas más frecuentes a los currícula del pasado ha sido, precisamente, la casi exclusiva atención a los contenidos conceptuales, con olvido de los aspectos metodológicos (Bybee 1977). No debe olvidarse, sin embargo, que otra crítica reiterada se dirige a la incorrecta orientación que preside la introducción de la metodología, contemplada como algo independiente de los contenidos, cuya importancia es minusvalorada (Ausubel 1978; Hodson 1985; Gil 1986; Millar y Driver 1987; Linn 1987).
4. Muy ligada a la cuestión anterior está la necesidad, cada vez más resaltada, de orientar la actividad docente por *modelos de enseñanza/aprendizaje teóricamente fundamentados* (Peterson 1979). De hecho —como hemos tenido ocasión de mostrar reiteradamente en los capítulos 1, 2 y 3— toda práctica docente en el dominio de las ciencias puede asimilarse a uno de los siguientes paradigmas: aprendizaje como «recepción de conocimientos ya elaborados», «descubrimiento inductivo y autónomo» y «construcción de conocimientos o investigación» (Gil 1983; Gil 1986). Y aun cuando un curriculum no debe elaborarse para imponer una rígida orientación didáctica, es indudable que quienes son favorables a una enseñanza por transmisión verbal no valorarán el papel de, digamos, los trabajos prácticos, de la misma manera que quienes se inclinan por el descubrimiento inductivo y autónomo.
5. Una cuestión que se ha revelado de enorme importancia y a la que se está dedicando una atención creciente (ver capítulo 3) es la centrada en las *ideas y metodología previas de los alumnos* y el papel que éstas juegan en el aprendizaje. La mayor o menor atención a este sustrato inicial es, de nuevo, una opción básica a la hora de diseñar un curriculum.
6. Una cuestión que hoy aparece asociada casi indefectiblemente en las propuestas de renovación de la enseñanza es la que hace referencia al *carácter integrado* o separado en disciplinas de su estudio (Frey 1989).
7. Nos referiremos por último a la cuestión de las *relaciones entre el curriculum y la realidad extraescolar*, relación que aparece como una de las tendencias más fructíferas en la evolución de la ense-

ñanza de las ciencias (Penick y Yager 1986; García 1987; Fdez Rójer y Moreno 1989).

Sin duda, podríamos referirnos a otras cuestiones relevantes a la hora de diseñar un currículum. Hemos optado, sin embargo, por tener en cuenta únicamente los criterios más generales y más frecuentemente citados en la literatura. Presentaremos a continuación un cuestionario que intenta recoger las distintas opciones en torno a los criterios retenidos. Hemos utilizado dicho cuestionario con numerosos grupos de profesores de ciencias con objeto de favorecer la reflexión y posterior debate en torno a la confección de un currículum y hacer ver la conveniencia de planteamientos explícitos que eviten aceptaciones acríticas. Con esa misma finalidad proponemos a los lectores cumplimentar dicho cuestionario:

Cumplimentar el cuestionario que a continuación se presenta en torno a los distintos criterios para la elaboración de un currículum de ciencias en la educación secundaria obligatoria

CUESTIONARIO SOBRE CRITERIOS PARA LA ELABORACIÓN DE UN CURRÍCULO DE CIENCIAS EN LA EDUCACIÓN SECUNDARIA OBLIGATORIA

El proceso de reforma educativa que estamos viviendo contempla cambios profundos en los currícula. La eficacia de estos cambios exige, sin embargo, la máxima participación del profesorado. Con ese objetivo hemos preparado este cuestionario destinado a recoger el punto de vista de quienes somos profesores en activo sobre los criterios que deben presidir la elaboración de un currículum. Las opciones incluidas en cada apartado están relacionadas entre sí —aunque no son necesariamente contrapuestas— y deben leerse conjuntamente antes de proceder a la calificación de cada una de ellas en una escala de 0 a 10.

A. Sobre la obligatoriedad del currículum

Realizados los estudios y consultas pertinentes a todos los sectores implicados:

- A.1. Se determinará lo que es más fundamental y se confeccionará e implantará el currículum correspondiente...
- A.2. Se harán públicas unas recomendaciones básicas, pero dejando libertad para que cada profesor o, mejor, grupo de profesores, determine justificadamente su propio currículum...
- A.3. Se fijarán unos contenidos mínimos que sólo cubran una fracción del tiempo real disponible —del 40 al 60%— dejando libertad para que cada profesor o, mejor, equipo de profesores, determine justificadamente el resto de temas, actividades, etc, a introducir...

B. *Sobre la extensión del currículum y el tiempo disponible*

- B.1. La comprensión de los conocimientos científicos exige tiempo, tratamiento en profundidad. Es necesario, pues, seleccionar la materia a estudiar, sin pretender ver todo lo que es importante, pues ello conduce a tratamientos superficiales que deforman la imagen de la ciencia y no proporciona conocimientos durables...
- B.2. Se ha de evitar que los alumnos terminen sus estudios sin haber visto capítulos importantes de las ciencias que, además de su interés formativo, pueden necesitar en sus estudios superiores. Ello obliga a proporcionar una visión amplia que recoja los capítulos fundamentales de las ciencias...
- B.3. Un correcto desarrollo de los currícula de las materias científicas exige una ampliación del tiempo disponible, por encima de los niveles actuales...
- B.4. La cuestión del tiempo disponible para impartir una materia no constituye un verdadero problema, si se ajusta convenientemente el currículum a dicho tiempo...
- B.5. Por debajo de cierto tiempo mínimo —que puede concretarse en el nivel actual— la enseñanza de una ciencia deja de ser útil, pues, o bien ha de limitarse al estudio con cierta profundidad de un número tan escaso de temas que no llegan a constituir un mínimo cuerpo de conocimientos, o se convierte en un tratamiento absolutamente superficial, dando en ambos casos una visión deformada de la ciencia...

C. *Sobre el «saber» y el «saber hacer»*

- C.1. Las prácticas han de constituir el punto de partida e hilo conductor para el desarrollo de una ciencia experimental y los conocimientos han de inducirse a partir de las mismas...
- C.2. El currículum ha de estar centrado en la impartición de conocimientos ordenados y los problemas y trabajos prácticos han de jugar un papel de ilustración y aplicación que facilite la comprensión y dominio de dichos conocimientos...
- C.3. La construcción de conocimientos científicos en la clase ha de ser el resultado de un proceso de investigación dirigida que incluya desde el planteamiento de problemas al análisis de resultados, pasando por la emisión de hipótesis, diseño y realización de experimentos, etc, y conduzca a la elaboración de cuerpos coherentes...
- C.4. Dada la rápida evolución de los conocimientos, un curso de ciencias debería estar centrado en los procesos, es decir, en la familiarización con la metodología científica, sin que los contenidos importen demasiado...
- C.5. El objetivo de la enseñanza de las ciencias no es «hacer científicos» —cosa obviamente irrealizable— sino facilitar el aprendizaje de conocimientos ordenados que proporcionen una mínima visión de lo que es la ciencia y preparen una posible dedicación posterior al trabajo científico...
- C.6. No se puede pensar en «hacer ciencia» al margen de la construcción

de cuerpos coherentes de conocimientos, ni tampoco en un aprendizaje significativo de conocimientos que no conlleve su construcción mediante el uso de la metodología científica. El aprendizaje de conocimientos y la familiarización con la metodología científica deben, pues, plantearse conjuntamente...

- C.7. La actitud investigadora —fundamental para la construcción de los conocimientos científicos— es natural en los niños/as, pues espontáneamente se plantean preguntas, hacen conjeturas, ensayan, sacan conclusiones, etc. de forma similar a como hacen los científicos. La escuela debe favorecer el desarrollo autónomo de esta actitud sin coartarla...
- C.8. La actitud exploratoria de los jóvenes, aun representando un punto de partida positivo, está muy alejada de las características del trabajo científico: en efecto, los alumnos tienden a sacar conclusiones precipitadas a partir de «evidencias de sentido común» y a realizar estudios muy puntuales que no cuestionan la posible coherencia —o falta de la misma— con otros resultados. En consecuencia, la enseñanza de las ciencias debe favorecer la superación de estas tendencias espontáneas, produciendo un cambio metodológico, nada simple, que exige una atención particular...

D. Sobre los modelos de enseñanza/aprendizaje de las ciencias y el papel del profesor

- D.1. Sólo una enseñanza basada en la transmisión de conocimientos estructurados puede evitar que los alumnos caigan en adquisiciones dispersas. Así, pues, el trabajo en la clase ha de estar centrado en la presentación ordenada del profesor y en la asimilación activa de los alumnos...
- D.2. Sólo un trabajo autónomo, que responda a las motivaciones de los alumnos, puede favorecer un auténtico desarrollo intelectual. El trabajo en la clase ha de dejar amplia autonomía a los alumnos, y al profesor corresponde actuar como un experto al que se puede consultar en caso de necesidad...
- D.3. El papel del profesor ha de ser el de organizador de programas de actividades, a través de las cuales los alumnos puedan —mediante un trabajo dirigido de investigación— construir conocimientos y adquirir destrezas y actitudes...

E. Sobre los conocimientos previos de los alumnos

- E.1. El aprendizaje no puede plantearse concibiendo al alumno como una «tábula rasa» sino que es preciso tener muy en cuenta sus ideas, hábitos y actitudes iniciales, ya sea para apoyarse en ellos, ya sea para transformarlos o incluso «derribarlos»...
- E.2. El currículum de cada curso se debe organizar de acuerdo con una distribución lógica y coherente de la materia a lo largo de los estudios y no debe ser alterado por las carencias de los alumnos mal preparados, porque ello se traduciría en un grave descenso del nivel...
- E.3. Muchas de las dificultades que los alumnos encuentran para seguir con provecho una asignatura son debidas a que no dominan adecuadamente

te los conocimientos correspondientes a cursos anteriores y que, a menudo, se dan por sabidos sin verificación ni revisión alguna. Es importante, pues, explicitar los pre-requisitos para el desarrollo de un curso y revisarlos para evitar que se conviertan en obstáculo...

F. *Sobre la relación entre las distintas materias*

- F.1. La realidad es una y las distintas asignaturas vienen a romper artificial y arbitrariamente dicha unidad. Por ello, el currículum debe plantearse con una orientación de enseñanza integrada...
- F.2. La realidad es, sin duda, una, pero no uniforme, sino con distintos niveles de organización —cada uno con leyes propias— a los que corresponden, en cierta medida, las distintas ciencias que constituyen cuerpos coherentes de conocimientos...
- F.3. El método científico es común a todas las ciencias y ello permite un tratamiento integrado de las mismas sin la tradicional separación en distintas disciplinas...
- F.4. Una visión unitaria de la realidad tiene sentido como aproximación inicial o como resultado de una profundización capaz de poner en evidencia relaciones entre distintos campos. Pero el tratamiento científico ha de ser necesariamente analítico y simplificadorio, al menos durante periodos amplios del proceso, tal como muestra la misma historia de las ciencias...
- F.5. Un tratamiento disciplinar no ha de ser sinónimo —como a menudo ocurre— de visión reduccionista y parcelada, sino de construcción de cuerpos coherentes de conocimientos que, por supuesto, ha de ir mostrando, como resultado de su desarrollo, las relaciones progresivamente establecidas entre cuerpos inicialmente desconexos...

G. *Sobre las relaciones ciencia/técnica/sociedad*

- G.1. El currículum debe contemplar las relaciones entre desarrollo científico/técnico y sociedad en toda su complejidad, incluyendo hasta los aspectos más conflictivos y debatibles. Ello resulta esencial, no sólo para dar una imagen correcta de la ciencia, sino para la formación del futuro ciudadano y favorecer el interés y las actitudes críticamente positivas hacia la ciencia y su aprendizaje...
- G.2. Las relaciones entre enseñanza de las ciencias y realidad deben concretarse en el tratamiento de las aplicaciones de la ciencia y la técnica evitando las derivaciones políticas e ideológicas que salgan del marco objetivo de lo científico para caer en lo subjetivo y opinable...
- G.3. Para que el aprendizaje sea eficaz ha de ajustarse a los intereses existentes en los alumnos y a los problemas de su entorno...
- G.4. No se trata tanto de ajustarse a los intereses existentes en los alumnos —fruto de sus experiencias extraescolares, presiones del medio, etc— cuanto de, teniendo en cuenta dichos intereses, ampliarlos y lograr que aquello que se haga en clase les abra nuevas perspectivas...
- G.5. Tan importante o más que incluir actividades que propicien el aprendizaje de conocimientos (saber) y destrezas científicas (saber hacer) es

prever actividades que generen una actitud positiva —críticamente positiva— hacia la ciencia, saliendo al paso de visiones incorrectas (pero muy extendidas) acerca de los científicos, relaciones ciencia/sociedad, la evolución histórica de las ciencias, etc...

H. *Sobre el papel de la historia de las ciencias*

- H.1 El desarrollo histórico de una ciencia suele ser un proceso excesivamente complejo. Un curso debe enfocarse, pues, atendiendo fundamentalmente a la lógica propia de la materia y no a su historia...
- H.2 Conocer la historia de una ciencia permite aproximarse al proceso de creación científica y tiene, además, un indudable interés cultural, contribuyendo a contextualizar los conocimientos, a comprender su evolución y las relaciones C/T/S. El curriculum habrá, pues, de contener elementos de la historia de la ciencia estudiada...
- H.3 El papel esencial de la historia de las ciencias en la enseñanza consiste en su utilización por el profesor para crear las situaciones de aprendizaje que permitan a los alumnos reconstruir, en cierta medida, los conocimientos científicos al tiempo que se familiarizan con la metodología científica...
- H.4 No debe seguir separándose artificialmente —en aras de un cierto historicismo— entre Física Clásica y Física Moderna. Así, por ejemplo, al estudiar los principios de conservación de la masa y de la energía, resulta lógico referirse a la ecuación de Einstein $E = mc^2$...
- H.5 La evolución histórica de una ciencia no es un proceso meramente acumulativo. Los conocimientos se articulan en cuerpos coherentes o teorías, hasta que dificultades insuperables provocan una revolución teórica, el surgimiento de un nuevo paradigma. La enseñanza de una ciencia debe tener en cuenta estos hechos y no dar una visión simplemente acumulativa del desarrollo científico que, además, resulta arbitraria y escasamente comprensible. Dicho de otro modo, la enseñanza ha de organizarse para provocar cambios conceptuales, ajustados en cierta medida a los grandes cambios de paradigma. Así, los alumnos han de comprender, al menos cualitativamente, contra qué visión del comportamiento de la materia se edifica la mecánica clásica y los límites de esta que condujeron a la relatividad y a la mecánica cuántica...

¿Cuáles son los resultados que suelen obtenerse al pasar un cuestionario como el anterior a profesores de ciencias en activo? Digamos de entrada que aparecen diferencias importantes y estadísticamente significativas entre las distintas opciones, no simples promedios aleatorios como podría pensarse desde ciertas posturas elitistas. Los resultados obtenidos por distintos colectivos son coherentes entre sí y, en general, coherentes con las aportaciones de la investigación educativa. No nos detendremos aquí en el análisis estadístico de esos resultados —que suponen un apoyo a la participación del profesorado en el diseño curricular (Carrascosa, Furió y Gil 1984)— y

nos limitaremos a presentar las conclusiones de mayor interés.

En primer lugar, los resultados muestran un serio rechazo de los habituales currícula, enciclopédicos, completamente obligatorios e inabordables. Por el contrario, se opta por la idea de un curriculum flexible —organizado en torno a un núcleo o «core» común— anteponiendo la profundización a la extensión, de acuerdo —como señala Linn (1987)— con los actuales conocimientos acerca de cómo se produce el aprendizaje.

En segundo lugar, se opta por un curriculum que conjunte una verdadera aplicación de la metodología científica con la adquisición de un cuerpo coherente de conocimientos. Se rechaza así, tanto una enseñanza basada en la transmisión de conocimientos elaborados —en la que la metodología científica pierde su funcionalidad— como el descubrimiento inductivo y autónomo, que conduce a adquisiciones dispersas y anecdóticas. Se sostiene, por el contrario, que el papel del profesor ha de ser el de organizar y dirigir actividades de investigación de los alumnos, a partir de problemas susceptibles de interesarles y que conecten con sus conocimientos previos.

Se resalta también la necesidad de introducir en el curriculum nuevos aspectos de la educación científica, reconociendo que las dimensiones históricas, sociológicas, tecnológicas y humanísticas son tan válidas para la organización de las experiencias de aprendizaje como los propios contenidos conceptuales de la materia o los aspectos metodológicos, resultando por otra parte absolutamente esenciales para favorecer una actitud positiva hacia la ciencia y su aprendizaje (Solbes y Vilches 1989; Matthews 1990).

Por lo que se refiere a la cuestión clave de la disciplinarietà versus ciencia integrada, los resultados son menos claros, como corresponde a un aspecto en torno al cual se mantiene hoy, en nuestro país, un fuerte debate (San Valero 1990). Abordaremos esta cuestión con algún detenimiento en el capítulo 10 al intentar fundamentar la secuenciación de los contenidos en la Educación Secundaria Obligatoria. Aquí resaltaremos, para terminar, que tanto las opciones explícitas del profesorado como la investigación didáctica coinciden en apoyar la idea de un curriculum flexible. Ésta es también la orientación de las propuestas curriculares en el «Proyecto para la Reforma de la Enseñanza», que reconoce un protagonismo considerable de los centros y profesores (Coll 1989). Analizaremos dichas propuestas en el capítulo siguiente.

CAPÍTULO IX

EL CURRÍCULUM DE CIENCIAS EN LA ENSEÑANZA SECUNDARIA OBLIGATORIA

La idea de un currículum flexible constituye —como acabamos de ver en el capítulo anterior— una de las reivindicaciones prioritarias del profesorado de ciencias y una de las implicaciones más claras de la investigación educativa, que lo considera uno de los requisitos básicos para la incorporación del profesorado a un proceso creativo de renovación de la educación.

Con la adopción de las propuestas de un Diseño Curricular Base y de distintos niveles de concreción curricular (Coll 1989), esa flexibilidad curricular se convierte hoy en hecho —al menos sobre el papel— en nuestro país, reconociéndose un protagonismo considerable a los centros y profesores. En efecto, rompiendo con una larga tradición centralista y burocrática, el Diseño Curricular Base que «tiene como finalidad determinar las experiencias educativas que la educación obligatoria ha de garantizar a todos los alumnos sin discriminación (...) adopta la forma de una propuesta curricular abierta, limitándose a formular en términos muy generales un conjunto de prescripciones, sugerencias y orientaciones sobre la intencionalidad de la educación escolar y sobre las estrategias pedagógicas más adecuadas a dicha intencionalidad. Permite, por lo tanto, llevar a cabo adaptaciones y concreciones curriculares diversas en función de los múltiples factores que configuran las situaciones educativas particulares».

El Diseño Curricular Base (DCB) se convierte así en el marco de referencia obligado para la participación del profesorado en las tareas

de concreción curricular. Conviene, pues, analizar las propuestas del DCB relativas al Área de Ciencias en la Educación Secundaria Obligatoria antes de concebir una posible secuenciación de contenidos.

1. El Diseño Curricular Base como marco general de referencia

Analizar las recomendaciones y sugerencias del Diseño Curricular Base para el área de ciencias en la Educación Secundaria Obligatoria, cotejándolas con las principales implicaciones del trabajo didáctico realizado hasta aquí y, en particular, con las opciones realizadas para el establecimiento de un capítulo en el apartado anterior.

El carácter prescriptivo del Diseño Curricular Base acerca de qué enseñar en las distintas áreas obliga, sin duda, a tenerlo en cuenta. Sin embargo, nuestra referencia al DCB va más allá de esa obligatoriedad y supone el reconocimiento explícito de un acuerdo básico con las tesis y propuestas contenidas en el mismo (Coll 1989; MEC 1989; Del Carmen 1990; Nieda 1990). Así, hacemos nuestra «por un lado, la necesidad de una formación científica básica para todos los ciudadanos y, por otro, la conveniencia de que en el transcurso de la Educación Obligatoria, los alumnos adquieran (algunos de) los instrumentos conceptuales necesarios para interpretar una realidad cada vez más impregnada por la Ciencia y la Tecnología y desarrollen una actitud crítica, fundamentada y responsable ante las consecuencias que se derivan para los seres humanos». El párrafo anterior reproduce una cita textual de la introducción al Área de Ciencias de la Naturaleza (MEC 1989). Tan sólo hemos añadido el paréntesis (algunos de), pues consideramos que expresiones como «adquieran los instrumentos conceptuales necesarios» o «las grandes ideas básicas», etc, que abundan en el texto, deben transformarse en «adquirir algunos de los ...» por coherencia con el carácter no enciclopédico del DCB; como reconoce Frey (1989) quienes diseñan un curriculum «ya no son víctimas de la ilusión de que pueden cubrir lo esencial de una materia».

Resultaría prolijo señalar con la debida extensión todos los planteamientos del Diseño Curricular Base para el Área de Ciencias de la Naturaleza con los que estamos de acuerdo; de forma esquemática resaltaremos aquellos que reflejan tendencias actuales en el curriculum de ciencias (Caamaño 1988):

- La orientación explícitamente constructivista, con la consiguiente atención a los conocimientos previos de los alumnos, a su actividad y al nuevo papel orientador del profesorado.
- El reconocimiento de una diferencia esencial entre lo que se

puede y conviene hacer en la Educación Primaria (aproximación global y vivencial al conocimiento del medio) y lo que ya es posible en la Secundaria Obligatoria (aproximación a una indagación científica de la realidad), siempre sin perder de vista que el propósito fundamental no es preparar a futuros científicos sino formar ciudadanos.

- La importancia dada en los objetivos generales al desarrollo de estrategias de resolución de problemas, utilizando pautas propias de la investigación científica (expuestas con claridad, aunque algo esquemáticamente), al trabajo colectivo, a las relaciones Ciencia/Técnica/Sociedad, etc.
- La unidad de tratamiento preconizada para los contenidos conceptuales, procedimentales y actitudinales.
- Las orientaciones para la evaluación como instrumento de aprendizaje y de mejora de la enseñanza.

Todas estas propuestas y orientaciones son plenamente coherentes, pensamos, con las adquisiciones de la investigación en Didáctica de las Ciencias y suponen un notable progreso en el diseño curricular; pero más importante todavía es que, coherentemente con las concepciones didácticas sustentadas, no se ha caído en el error —muy frecuente entre los diseñadores de curricula (Piaget 1969)— de proponer un currículum cerrado. Se insiste, por el contrario, en que los bloques de contenidos incluidos (ver en Anexo D) *no constituyen un temario* y en que el orden de presentación de los bloques no supone una secuenciación: «El equipo docente de un centro decidirá cómo distribuirlos en los ciclos, secuenciándolos, y cada profesor seleccionará posteriormente los contenidos que va a desarrollar en su programación.» Rompiendo así con una tradicional desconfianza hacia el profesorado, se reconoce y favorece un amplio margen de libertad. Ello reduce notablemente las discrepancias que cualquier equipo de profesores pueda tener respecto a la presentación de los bloques de contenidos y a las orientaciones específicas que se proporcionan para cada bloque.

La secuenciación de contenidos que vamos a presentar en el siguiente apartado tiene como primera finalidad dejar patente esa flexibilidad de las propuestas curriculares. Para ello, conviene cotejar distintas secuenciaciones o, mejor aún, participar en la elaboración de una secuenciación y cotejarla con las elaboradas por otros equipos (Del Carmen 1990).

Podría, quizá, pensarse que esa flexibilidad (que va a permitir coneciones muy diferentes, tanto en lo que se refiere a la secuenciación de contenidos que aquí nos ocupa, como en los Proyectos Curriculares de Centro, etc.) es expresión de un «todo vale»... para el que no hacían falta tantas orientaciones y fundamentación. Éste es un te-

mor que no pocos profesores han expresado. Estamos seguros, sin embargo, de que la necesidad de fundamentar las propuestas —como se hace en los propios documentos del DCB— y la elaboración colectiva de las mismas, pueden acotar dichas propuestas haciendo aparecer una coherencia básica en muchos aspectos fundamentales. En efecto, trabajo colectivo y esfuerzo de fundamentación suponen *profundización*, y esa profundización va a traducirse en elaboraciones coherentes con los resultados mejor establecidos de la investigación didáctica y, por tanto, coherentes entre sí. Por otra parte, de esta forma no se esconden tampoco las discrepancias existentes ni se fuerza a la uniformización: las distintas opciones pueden ser desarrolladas, analizadas críticamente y, sobre todo, pueden ser evaluadas, favoreciéndose así una fructífera confrontación.

En definitiva, los documentos del Diseño Curricular Base —con su fundamentación explícita de las propuestas, etc— pueden proporcionar en este proceso de concreción del currículum una orientación muy adecuada, siempre que la lectura que hagamos no se centre exclusivamente —ni siquiera prioritariamente— en los bloques de contenidos y tenga en cuenta las orientaciones generales y todas las llamadas de atención que relativizan, precisamente, el peso prescriptivo de dichos bloques.

Tomando ahora como punto de partida las orientaciones del Diseño Curricular Base vamos a elaborar una propuesta de secuenciación de los contenidos de ciencias para la Educación Secundaria Obligatoria. Contemplaremos para ello, en primer lugar, los criterios generales para la distribución de los contenidos entre el primer ciclo (12-14 años) y el segundo (14-16). A continuación, elaboraremos un hilo conductor que proporcione sentido a los contenidos de cada ciclo y, por último, nos referiremos con algo más de detalle a la organización de dichos contenidos.

2. Caracterización general de los dos ciclos de la Educación Secundaria Obligatoria

La confección de una secuencia que distribuya los contenidos científicos contemplados en el Diseño Curricular Base para los dos ciclos de la Educación Secundaria Obligatoria, supone, en primer lugar, caracterizar adecuadamente la actividad que conviene realizar en cada uno de los ciclos.

Considerar los posibles criterios generales para la distribución de los contenidos de ciencias de la Educación Secundaria y Obligatoria entre el primer ciclo (12-14 años) y el segundo (15-16).

Ya hemos manifestado en el apartado anterior nuestro acuerdo con la distinta orientación que el aprendizaje de las ciencias ha de tener en la etapa Primaria —con un carácter de «conocimiento del medio» esencialmente global y vivencial (Cañal 1987; Niedo 1990)— y en la etapa Secundaria que aquí nos ocupa, en la que es posible iniciar ya una actividad próxima a una «indagación científica de la realidad». Éste es, sin duda, un aspecto básico para la orientación del curriculum en el que conviene detenerse.

La preocupación creciente por el fracaso en lograr que los alumnos y alumnas posean conocimientos y habilidades científicas al acabar sus estudios ha conducido a muchos educadores —dada la importancia creciente de la ciencia y de la técnica en el mundo actual— a proponer la introducción del trabajo científico en edades más y más tempranas, incluso —como denunciaban Colub y Kolen (1976)— en Preescolar. Se apoyan dichas propuestas en el hecho de que otros campos de la cultura (Historia, Matemáticas, ...) se introducen, efectivamente, mucho más pronto, y en las ideas de Kelly (Pope y Keen 1981) sobre las similitudes entre el pensamiento ordinario y el pensamiento científico. Bastaría, sin embargo, tener en cuenta los estudios de epistemología genética (Piaget 1970) para cuestionar esas propuestas de introducir la actividad científica en edades muy tempranas. Es bien sabido, además, que las ciencias son construcciones recientes —muy recientes— en la historia de la humanidad y suponen un profundo y difícil cambio metodológico que rompe con la forma habitual de enfrentarse a los problemas, caracterizada por la «seguridad», por apoyarse en las «evidencias de sentido común», por los tratamientos locales (sin la preocupación por la coherencia global), etc. (Gil y Carrascosa 1985; Hashweh 1986). Como hemos tenido ocasión de ver con un cierto detenimiento en la primera parte de esta didáctica, la ciencia introduce una metodología a la vez más creativa y más rigurosa: más creativa porque obliga a poner en cuestión lo obvio, a abandonar la seguridad en las evidencias y a pensar en términos de hipótesis, imaginando otras posibilidades; y más rigurosa porque impone la contrastación de las hipótesis en condiciones cuidadosamente controladas y la búsqueda de la coherencia del conjunto de conocimientos.

Construir conocimientos exige este difícil cambio metodológico y, por tanto, intentar la construcción de conocimientos científicos con alumnos muy jóvenes supone, o bien ignorar esta ruptura entre pensamiento ordinario y pensamiento científico, o bien intentar producirla demasiado pronto, con escasas posibilidades de lograrla. No es casual que, como ya hemos dicho, la ciencia constituya una construcción reciente de la humanidad: previamente fue necesario un largo proceso de acumulación «precientífica». Similarmente, la escuela

habría de favorecer, durante un largo período inicial, un tipo de actividad más espontánea, más global y vivencial, es decir, más próxima a la forma de abordar los problemas en la vida cotidiana. Respetaríamos así un desarrollo coherente con la evolución cultural de nuestra sociedad, en el que el trabajo científico ha estado precedido por siglos y siglos de preciencia. Por otra parte, y aunque la finalidad de la enseñanza de las ciencias no sea la preparación de futuros científicos, sino proporcionar una formación científica básica para todos los ciudadanos, ello supone que, en el transcurso de la Educación Obligatoria, los alumnos adquieran una primera visión de lo que significa la investigación científica de la realidad. El problema fundamental a este respecto es el de cuándo y en qué forma producir este paso desde las actividades de conocimiento del medio a las de construcción de conocimientos científicos.

Digamos de entrada que los resultados de que disponemos permiten afirmar que es posible iniciar el cambio metodológico con alumnos de 15-16 años (Furió 1986.b) pero que carecemos de evidencia experimental sobre la conveniencia o no de iniciarlo más pronto. Nuestra opción será, pues, posponer la introducción de una orientación científica —dirigida a la construcción de cuerpos coherentes de conocimientos— al segundo ciclo de la Educación Secundaria Obligatoria (15-16 años), dando al primer ciclo (13-14 años) una orientación intermedia entre el simple conocimiento del medio de la Educación Primaria y la investigación científica dirigida. El tratamiento para este primer ciclo será así global y cualitativo, dirigido más a despertar la curiosidad científica, el interés por el mundo de las ciencias, que a construir conocimientos científicos. Ello no excluye implicar a los alumnos en investigaciones puntuales, de carácter pre-teórico, como las que se realizan en los inicios de una ciencia; pero sólo en la medida en que contribuya a generar el interés por ulteriores estudios más propiamente científicos.

Este carácter de aproximación precientífica del primer ciclo permite —aunque sin hacerlo obligatorio— un tratamiento integrado, no disciplinar (Caamaño 1988). Para el segundo ciclo, sin embargo, y en la medida misma en que se trata ya de construir conocimientos científicos, consideramos recomendable una organización netamente disciplinar, con una asignatura de Biología y Geología y una de Ciencias Físico-químicas. Conocemos las críticas —muy justificadas— a las visiones reduccionistas y parceladas de las ciencias que proporcionan, a menudo, las asignaturas, así como los argumentos avanzados en favor de la introducción de currículos de ciencia integrada (Haggis y Adey 1979; Frey 1989). Pese a ello, nuestra opción es decididamente disciplinar (Gil 1989). Nos detendremos mínimamente en clarificar este punto, en el que se concreta una de las escasas di-

vergencias que se dan hoy en nuestro país entre los distintos grupos dedicados a la investigación e innovación en Didáctica de las Ciencias. Las razones aducidas en favor de una ciencia integrada son bien conocidas y parecen convincentes:

Existe una única realidad —se dice— y las diferentes disciplinas rompen artificialmente dicha unidad, proporcionando visiones parciales, desconexas. Se señala además que, si se pretende conectar con los intereses de los niños y niñas y partir de problemas de su entorno, hay que tener en cuenta que su percepción de dichos problemas es, sin duda, globalizadora y no entiende de divisiones en asignaturas. Por último, otra de las razones generalmente apuntadas en favor de la orientación de ciencia integrada se refiere a la existencia de una metodología común, independiente del contenido y la aceptación de que la familiarización con dicha metodología general —transferible de un dominio a otro— es un objetivo fundamental.

¿En qué medida este tipo de consideraciones resulta aceptable? o, dicho de otro modo, ¿hasta qué punto la sustitución de las asignaturas clásicas (Biología, Física, etc) por unas Ciencias Integradas puede contribuir a una mejor preparación de los alumnos y a generar una actitud más positiva hacia las ciencias? Sintetizaremos brevemente nuestros argumentos (Gil 1989):

En primer lugar, la idea de unidad de la materia como apoyo de una visión global, no parcializada, debe ser cuidadosamente matizada: el establecimiento de dicha unidad es, sin duda, una de las conquistas mayores del desarrollo científico, pero se trata de una conquista muy reciente y nada fácil. Pensemos, por ejemplo, que los principios de conservación y transformación de la materia y de la energía, fueron establecidos, respectivamente, en los siglos XVIII y XIX; o que la fusión de la Óptica, la Electricidad y el Magnetismo en la Teoría Electromagnética, se produce también en el siglo XIX. Recordemos, por otra parte, la fuerte oposición a las concepciones unitarias en Astronomía (Heliocentrismo), en Biología (Evolucionismo) o en Química (Síntesis orgánica), que sigue presente en las preconcepciones de muchos alumnos.

La unidad de la materia aparece así como un resultado y no como un punto de partida. Además, dicha unidad no debe ser interpretada de manera reduccionista: es cierto que, por ejemplo, todas las sustancias están constituidas por átomos y que las leyes físicas son omnipresentes; pero no basta con ellas para comprender el mundo de los seres vivos, que es un nivel de organización de la materia más complejo, con leyes propias. Esconder la existencia de niveles distintos de organización dotados de leyes propias, y colocar al mismo nivel un abordaje físico, biológico, ... de la realidad, mediante un tratamien-

to simultáneo de los diferentes aspectos, conduce a una visión confusa, empobrecida y equívoca de esa realidad.

Es preciso, por otra parte, tener presente que una característica esencial de una aproximación científica es la voluntad explícita de simplificación y de control riguroso en condiciones preestablecidas, lo que introduce elementos de artificialidad indudables que no deben ser ignorados ni ocultados: los científicos *deciden* abordar problemas resolubles y comienzan, para ello, *ignorando* consciente y voluntariamente muchas de las características de las situaciones estudiadas, lo que evidentemente les «aleja» de la realidad; y continúan «alejándose» mediante lo que sin duda hay que considerar como la esencia del trabajo científico: la *invención* de hipótesis, la construcción de modelos *imaginarios*. La esencia misma del trabajo científico exige tratamientos analíticos, simplificadorios, artificiales. Pero la historia del pensamiento científico es una constante confirmación de que ésta es la forma correcta de hacer ciencia, de profundizar en el conocimiento de la realidad en campos definidos, limitados, y de llegar posteriormente a establecer lazos entre campos aparentemente desligados. La metodología científica no resulta así un apoyo de tratamientos inicialmente globales integrados, sino que, muy al contrario, exige comenzar estudiando en profundidad dominios acotados, tendiendo a la construcción de cuerpos coherentes de conocimientos.

Digamos, por último, que una orientación consecuentemente constructivista del aprendizaje de las ciencias —que persiga la participación de los alumnos en la (re)construcción de los conocimientos científicos— parece exigir, en nuestra opinión, un trabajo de investigación dirigido centrado en *problemas abordables* y, por tanto, acotados, «disciplinares». Argumentos similares pueden encontrarse en una reciente y muy interesante revisión de lo que han aportado 20 años de enseñanza integrada de la ciencia, realizada con un talante claramente autocrítico por uno de los pioneros de dicha orientación (Frey 1989). Para Frey, los mitos que a finales de los años 60 dieron origen a las propuestas de ciencia integrada no pueden hoy seguir sosteniéndose y aboga directamente por una presentación disciplinar para el grupo de alumnos de 15 a 19 años.

Este rechazo de las «Ciencias integradas» no puede suponer, sin embargo, la aceptación de las orientaciones de la actual enseñanza disciplinar de las ciencias: los problemas del fracaso escolar y de la actitud negativa de los alumnos siguen vigentes; y conviene no olvidar que las propuestas de ciencia integrada constituían un intento de respuesta a dicha situación y, por tanto, un índice de la necesidad de cambios. No queremos por ello terminar sin manifestar nuestro convencimiento de que en este debate entre disciplinariedad y ciencia integrada se hace necesario un esfuerzo por comprender las razones

recíprocas y superar las lecturas simplistas que sólo prestan atención —magnificándolos— a los defectos *posibles* de la propuesta contraria.

Por nuestra parte, reconocemos que los defensores de una orientación integrada han sabido detectar y criticar las visiones parcializadas, desconexas, que la enseñanza disciplinar habitual proporciona, sin ni siquiera contribuir a mostrar el carácter de cuerpos coherentes de conocimientos de las disciplinas clásicas. De hecho, son muchos los textos en que los distintos capítulos son tratados como temas independientes, sin que se muestre el hilo conductor ni se intente resaltar su progresiva integración en un cuerpo coherente. Es preciso, pues, insistir en esta forma de integración tendente a *construir* una visión unitaria de la materia: un tratamiento disciplinar no ha de ser sinónimo —como a menudo ocurre— de visión reduccionista y parcelada. Hay que mostrar, por el contrario, como los estudios inicialmente acotados, simplificados, permiten una construcción eficaz de conocimientos, con el progresivo establecimiento de lazos unificadores y el surgimiento de problemas «frontera» entre campos originariamente desconexos. Es preciso, además, si se quiere dar una imagen real de lo que constituye la ciencia, romper con los habituales tratamientos puramente operativos que hacen total abstracción del contexto en el que una ciencia se desarrolla. Las complejas relaciones ciencia/sociedad *deben* ser incluidas (Solbes y Vilches 1989; Jiménez y Otero 1990) para transmitir el carácter de aventura colectiva que la construcción de la ciencia posee, en la que los conflictos de interés y la lucha por la libertad de pensamiento han jugado un papel esencial y en la que no han faltado ni las persecuciones ni las condenas. Toda una amplia corriente de la investigación en la didáctica de las ciencias se esfuerza hoy en devolver a su aprendizaje la vitalidad que el propio desarrollo científico tiene, resaltando el papel de la toma de decisiones (Aikenhead 1985) o el carácter dramático de dicho desarrollo (Hicks y Stone 1986) (ver capítulo 4).

Es en estos aspectos en los que la globalización resulta absolutamente necesaria, tanto para favorecer una actitud más positiva —críticamente positiva— hacia el aprendizaje de las ciencias, como para proporcionar una visión correcta del trabajo científico. Si al hablar de integración se está haciendo referencia a la necesidad de *construir* una visión unitaria de la realidad (esa gran conquista de la ciencia contra tantas barreras), a la necesidad de estudiar la ciencia en su contexto, atendiendo a las relaciones Ciencia/Técnica/Sociedad, a la necesidad de estudios interdisciplinarios de los problemas frontera, ..., en ese caso nos manifestamos fervorosos «integracionistas». Pero si por enseñanza integrada de las ciencias se entiende tomar la unidad de la materia como punto de partida, escondiendo además la existen-

cia de distintos niveles de organización y rechazando los tratamientos simplificados, acotados, esenciales en los orígenes de una ciencia, ..., en ese caso rechazamos con igual contundencia la integración. En definitiva, nuestra postura es defender una enseñanza disciplinar que no conduzca a visiones parcializadas, sino que dé igual importancia a los análisis simplificadorios que a las síntesis unificadoras, a los problemas precisos, acotados, iniciales, que a los tratamientos interdisciplinarios de los problemas frontera.

En resumen, y de acuerdo con lo expuesto hasta aquí, proponemos para el *Primer ciclo* (13-14 años) un tratamiento fundamentalmente cualitativo, incluyendo investigaciones puntuales —de carácter pre-teórico, como las que se realizan en los inicios de una ciencia— dirigido todo ello a *despertar la curiosidad científica*, el interés por el mundo de las ciencias. El desarrollo del ciclo puede ser integrado o disciplinar pero respetando en ambos casos las características señaladas.

En el *Segundo ciclo* (15-16 años) optamos por un tratamiento claramente disciplinar, dirigido ya a la construcción de cuerpos coherentes de conocimientos y a dar una visión correcta del trabajo científico y de las relaciones Ciencia/Técnica/Sociedad.

Consideramos que estas opciones respetan, como hemos intentado fundamentar, los parámetros evolutivos de los niños y niñas, las características del proceso de aprendizaje y la lógica propia del desarrollo científico. Pasaremos, pues, a exponer la secuenciación que se deriva de estas opciones.

3. Necesidad de un hilo conductor asumido por profesores y alumnos: un ejemplo de secuenciación de los contenidos de Física y Química

Una vez realizadas las opciones que determinan la caracterización general de los ciclos, trataremos aquí de dar una primera visión de como distribuir los bloques temáticos del Diseño Curricular Base (ver Anexo D) para que esa distribución proporcione sentido a los contenidos de cada ciclo, o, dicho con otras palabras, para que aparezca con claridad la problemática que va a abordarse y el hilo conductor para el desarrollo de cada curso. Hemos de insistir en que no se trata sólo de que la secuencia elegida posea un cierto hilo conductor, sino, sobre todo, de que éste resulte claro para los alumnos y que estos puedan adquirir una concepción preliminar de la tarea que dé sentido e interés a su trabajo.

Consideramos también necesario conectar de forma explícita la problemática abordada con lo que los alumnos ya conocen, facilitan-

do así su participación en la concreción de los problemas a estudiar. Teniendo en cuenta esto y lo expuesto en el apartado anterior sobre las características de los ciclos, distribuiremos los contenidos de Física y Química del DCB en dos hilos conductores, correspondientes, respectivamente, al primer ciclo («La búsqueda de regularidades en un mundo diverso y cambiante») y el segundo ciclo («La Física Clásica como revolución científica»).

La propuesta de secuenciación de los bloques temáticos del DCB que así resulta, afecta solidariamente a los contenidos conceptuales, procedimentales y actitudinales. Dedicaremos, sin embargo, un último apartado a una referencia más global a la secuenciación de los contenidos procedimentales y actitudinales en los dos ciclos de la Educación Secundaria Obligatoria, evitando así repeticiones innecesarias.

Antes de presentar esta propuesta de secuenciación queremos insistir una vez más en que se trata tan sólo de ejemplos que intentan dejar patente la flexibilidad del Diseño Curricular Base. *Invitamos por ello a los lectores a cotejar distintas secuenciaciones y, mejor aún, a participar en la elaboración de una secuenciación y cotejarla con las elaboradas por otros equipos.* (La que aquí se presenta se limita, como se indica en el título del apartado, a los contenidos de Física y Química).

3.1. *La búsqueda de regularidades en un mundo diverso y cambiante* (Una posible secuenciación de contenidos para el primer ciclo)

Comenzaremos preguntándonos qué imagen de la realidad pueden haber adquirido los alumnos, tanto a través de las actividades de Conocimiento del Medio de la Enseñanza Primaria, como a través de su experiencia extraescolar. No resulta difícil concluir que esa imagen va a resultar necesariamente confusa: la diversidad de lo existente y los constantes cambios observados y vividos traducen una impresión de desorden que se enfrenta, por otra parte, con indudables regularidades y constancias.

El deseo de entender lo existente, de avanzar en la comprensión de esa realidad compleja y confusa para poder incidir en ella ha constituido, durante siglos de preciencia, uno de los más potentes móviles de reflexión y trabajo. Generar o potenciar ese deseo ha de constituir un objetivo fundamental en el primer ciclo de la Educación Secundaria. La *búsqueda de regularidades* en la diversidad de lo existente, junto a la *comprensión y control de los cambios*, puede convertirse así en el hilo conductor para ese primer ciclo. Ello conecta cla-

ramente con el contenido de los bloques 1 y 8 del DCB (respectivamente, «Diversidad y unidad de la materia» y «Los seres vivos: diversidad y unidad»). Preferimos, sin embargo, confrontar en un primer momento diversidad y cambio a regularidad y constancia: la idea de unidad y transformación de la materia puede aparecer —al igual que ocurrió históricamente— como conjetura explicativa; pero hay que ser conscientes del peso muy superior que tiene como concepción espontánea —y que tuvo también históricamente— la conjetura contraria, según la cual la diversidad sería el fruto de la coexistencia de naturalezas esencialmente distintas, con «evidentes» barreras entre unas y otras: pensemos en la concepción de los cielos como mundo de lo perenne, de lo perfecto, frente a la Tierra como lugar de lo mudable, de lo imperfecto; o a la contraposición seres vivos/ materia inerte; o a la visión del ser humano como «no animal», etc. La cuestión sería, pues, no tanto forzar una concepción unitaria desde el principio cuanto de favorecer los intentos de comprensión, incluso si estos conducen, como aconteció históricamente, a visiones no unitarias y altamente «jerarquizadas». Ello ayudará a precisar las concepciones de sentido común y a plantear problemas concretos cuya investigación acabará cuestionando las concepciones iniciales, haciendo avanzar hacia la idea de unidad de la materia.

Proponemos, de acuerdo con lo anterior, una primera reflexión sobre «la diversidad y los cambios frente a la regularidad y permanencia», dirigida a sacar a la luz las preconcepciones de los alumnos, sus explicaciones espontáneas de la diversidad, etc. *¿Qué primeras ideas se les ocurren al respecto? ¿qué preguntas se formulan? ¿qué proyectos de investigación se derivan de dichas cuestiones que puedan interesarles?*

Dos ideas centrales pueden convertirse así en hilo conductor de los estudios a realizar durante el primer ciclo: la de *búsqueda de regularidades* en la diversidad de lo existente, y la *atención al cambio*, a las transformaciones, dirigida a su comprensión y control. El *cuadro 3* sintetiza ese posible hilo conductor para el ciclo en cuatro dominios:

- los seres vivos
- el medio físico terrestre
- las sustancias
- el movimiento de los astros.

Aunque el orden en que se aborden estos cuatro dominios puede, naturalmente, variar, esta distribución permite que, si se prefiere un tratamiento disciplinar desde el principio, los dos primeros sean tratados en un curso escolar por un profesor/a de Ciencias Naturales y

los dos últimos se impartan en un segundo año dedicado a la Física y Química. Por lo que respecta a los contenidos de Física y Química que quedarían incluidos en este primer ciclo, tendríamos;

1. El estudio de LA DIVERSIDAD DE LAS SUSTANCIAS incluiría:
 - aprender a separar y distinguir las sustancias
 - el estudio de los gases como forma más elemental de presentación de las sustancias.

Se realiza así, una primera aproximación a la estructura de la materia, cubriendo, prácticamente, el bloque 1 del DCB («Diversidad y unidad de la materia»).

Los *cambios de las sustancias* se tratarían en este nivel de forma muy elemental, para centrarse básicamente en el calor como forma de transformación de la materia y estudiar los fenómenos caloríficos. Se tocaría así una pequeña parte del bloque 3 («La Energía»).

2. La búsqueda de regularidades en el MOVIMIENTO DE LOS ASTROS, con el surgimiento del problema de los «errantes» (planetas), conduce finalmente a la subversión de concepciones sólidamente arraigadas sobre el lugar de la Tierra en el Universo (bloque 5: «La Tierra en el Universo»).

Las referencias a las observaciones astronómicas, pueden dar sentido aquí a un estudio de la propagación de la luz y de los instrumentos ópticos, viendo así algo del bloque 15 («Las ondas en la naturaleza») tal como se prevé en el mismo bloque 5, en el que se sugiere la introducción de «medios para observar y conocer el universo: telescopios...».

El Diseño Curricular Base no incluye, aparentemente, ninguna referencia a los *cambios en el Universo*; podría realizarse, sin embargo, una introducción muy cualitativa a los tremendos cambios que en él tienen lugar, contribuyendo así a romper con las conocidas preconcepciones de perfección y perennidad.

3. Hemos incluido, por último, un apartado de RECAPITULACIÓN que persigue favorecer una revisión globalizadora del trabajo realizado en el ciclo y, muy concretamente, la «recuperación» de los problemas relevantes que hayan quedado planteados para su estudio posterior. De este modo, se podrá enlazar el trabajo realizado en este primer ciclo con el que se hará en el segundo.

Puede ser conveniente también, tras este primer contacto con las ciencias, proceder a una reflexión/debate sobre el trabajo científico y el papel de la ciencia en la vida de los seres humanos y en la transformación del medio físico. Aunque el DCB no incluye

ningún bloque temático específico sobre el trabajo científico —proponiendo, muy acertadamente, el tratamiento unificado de los contenidos conceptuales, metodológicos y actitudinales— consideramos conveniente incluir en algún momento la reflexión explícita sobre la metodología científica y las relaciones Ciencia/Técnica/Sociedad.

Este sería, pues, el contenido del primer ciclo, que detallaremos algo más en el apartado siguiente, al tratar de las secuencias dentro de cada ciclo. Ahora proseguiremos dando una primera visión de los contenidos de Física y Química del segundo ciclo, que, como ya hemos indicado, tendrá un carácter netamente disciplinar.

3.2. *La Física Clásica como revolución científica*

(Posible secuenciación para los contenidos de Física y Química)

Este curso está concebido como una primera aproximación al imponente cuerpo teórico que supuso la Física Clásica. La edad de los alumnos (15-16 años) permite iniciar un cuestionamiento efectivo de las ideas espontáneas, así como la profundización en la metodología científica, resaltando ahora sus características más diferenciadoras de la metodología del sentido común.

El *cuadro 4* recoge un esquema para el desarrollo del curso. Expondremos ahora brevemente —siguiendo dicho esquema— la correspondencia entre la secuenciación propuesta y los bloques de contenidos del DCB.

1. LA FÍSICA DEL SENTIDO COMÚN no es mencionada explícitamente en ninguno de los bloques del DCB, pero se concede una gran importancia al tratamiento de las preconcepciones de los alumnos sobre fuerza y movimiento, etc (bloque 13), lo que resulta en cierto modo equivalente. Al darle categoría de capítulo hemos querido resaltar la importancia histórica de esta Física del sentido común —más allá de un conjunto de preconcepciones dispersas— y la dificultad que supuso y supone cuestionarla, hasta el punto de que la construcción de la Física Clásica constituyó una verdadera revolución científica.
2. El bloque de LA MECÁNICA CLÁSICA COMO RUPTURA CON LA FÍSICA DEL SENTIDO COMÚN incluye casi totalmente, como puede constatare, el bloque 13 del DCB («Fuerzas y movimiento») y gran parte del bloque 3 («La Energía»). Se pone de relieve en este bloque la profunda revolución conceptual que alcanza su cima con la síntesis newtoniana de las mecánicas celeste y terrestre.

3. EL TRABAJO CIENTÍFICO COMO REVOLUCIÓN METODOLÓGICA constituye una síntesis de los procedimientos generales y básicos para la resolución de problemas científicos (resaltados en todos los bloques del DCB). Con este tratamiento explícito se intenta que los alumnos adquieran conciencia clara del cambio esencial que supone esa metodología científica respecto a las formas de abordar los problemas en la vida ordinaria, así como de la importancia que posee familiarizarse con la misma.
4. El bloque dedicado al DESARROLLO DEL PARADIGMA CLÁSICO, permite ver cómo la nueva forma de abordar los problemas potenció el rápido desarrollo de dominios como la electricidad, el magnetismo, las ondas,... que siglos de precencia apenas habían hecho avanzar. Y permite también salir al paso de una visión puramente analítica del trabajo científico, mostrando cómo dominios aparentemente desligados (electricidad, óptica, ...) quedan integrados en el Electromagnetismo.

Se cubren aquí los bloques 14 («Electricidad y magnetismo») y 15 («Ondas en la naturaleza») del DCB. Hemos añadido una introducción (necesariamente breve y puramente cualitativa) a la crisis de la Física Clásica y el surgimiento de la Física Moderna. Con ello perseguimos, por una parte, evitar cualquier impresión de ciencia acabada que pudiera dar el prodigioso desarrollo de la Física Clásica y, por otra, facilitar una mejor comprensión de las nuevas ideas acerca de la estructura del átomo y del enlace, es decir, de la Química Moderna.

5. LA ERA DE LA QUÍMICA supone asomarse a las nuevas concepciones y aplicaciones de la Química que la revolución conceptual de la Física Moderna hizo posible y que tanto han contribuido a cambiar el modo de vida de los pueblos desarrollados, a la vez que originaban nuevos y graves problemas con los que la humanidad ha de enfrentarse hoy. El estudio propuesto incluye el bloque 2 del DCB («La estructura de las sustancias») y el 4 («Los cambios químicos»).
6. Hemos incluido, por último, al igual que hicimos en el primer ciclo, un bloque destinado a recapitular los problemas que habrán quedado planteados, ofrecer una breve panorámica de la situación de las ciencias en este final del siglo XX y abordar con cierto detenimiento las relaciones C/T/S que aparecen como un problema mayor en el desarrollo actual y futuro de las ciencias.

Digamos, para terminar, que somos conscientes de que los contenidos incluidos en los seis bloques enunciados sobrepasan, sin duda, lo que es posible tratar en un curso; serán necesarias, pues, ciertas opciones sobre qué temas tratar detenidamente y cuáles presentar más sumariamente. Nos referiremos a ello al detallar algo

más las secuenciaciones en el apartado 4, «Organización de los contenidos dentro de cada ciclo».

3.3. *Secuenciación de los contenidos procedimentales y actitudinales*

Al hacer referencia en la Introducción a nuestro acuerdo básico con las orientaciones del Diseño Curricular Base, resaltábamos, entre otros, la *unidad de tratamiento* preconizada para los contenidos conceptuales, procedimentales y actitudinales. Así, pues, la propuesta de secuenciación de los bloques temáticos que acabamos de presentar afecta a los contenidos conceptuales —descritos en cada bloque temático del DCB bajo el epígrafe «Hechos, conceptos y principios»— y a los procedimentales y actitudinales que les acompañan. Puede resultar conveniente, sin embargo, una referencia más explícita a la secuenciación de los contenidos procedimentales y actitudinales en los dos ciclos de la Educación Secundaria Obligatoria. Para ello hemos reservado este apartado, evitando así tener que repetir innecesariamente propuestas y consideraciones que se mantienen muy similares dentro de cada ciclo.

Por lo que se refiere a los contenidos procedimentales, el resumen presentado en el DCB destaca correctamente aspectos fundamentales —pero a menudo olvidados hoy en la mayoría de los materiales didácticos— como la emisión de hipótesis o el diseño de experimentos. Sin embargo, tal como aparecen descritos, estos procedimientos parecen corresponder al tratamiento de problemas aislados, es decir, a una aproximación pre-teórica. En nuestra opinión sería conveniente —si se desea dar una visión más correcta del trabajo científico— insistir en la importancia de la búsqueda de coherencia global y en el papel de los marcos teóricos de referencia (Sanmartí et al 1990) como punto de partida y término del proceso de construcción de conocimientos, tal como se hace, por lo demás, en otras páginas del DCB referidas a las preconcepciones.

Nuestra propuesta de graduación para la adquisición de los procedimientos científicos consiste, precisamente, en favorecer durante el primer ciclo los tratamientos de carácter pre-teórico, sin poner el acento en los aspectos más rigurosos del trabajo científico —formulaciones matemáticas, búsqueda de coherencia global, ...— ni insistir tampoco excesivamente en el cuestionamiento sistemático de lo que parece obvio, «de sentido común» que ha de caracterizar al pensamiento hipotético. Sería en el segundo ciclo, pues, cuando intentaríamos favorecer una aproximación más correcta al trabajo científico, resaltando su ruptura con las formas de tratamiento de problemas del

pensamiento común. La secuenciación de los bloques temáticos que hemos propuesto favorece, pensamos, esta diferencia de orientación entre el primer y el segundo ciclo. El estudio de las regularidades en el movimiento de los astros y consiguiente planteamiento del lugar de la Tierra en el Universo —que hemos propuesto como último bloque del primer ciclo— permitirá asomarse al cuestionamiento de las evidencias, característico del trabajo científico, aspecto que será desarrollado más ampliamente en el segundo ciclo junto a una atención prioritaria a lo que supone la construcción de cuerpos coherentes de conocimientos.

También los contenidos actitudinales —incluidos en cada bloque temático bajo el epígrafe «Actitudes, valores y normas»— aparecen resumidos al final del documento dedicado al Área de Ciencias de la Naturaleza del DCB. Por nuestra parte consideramos especialmente indicado potenciar durante el primer ciclo el desarrollo de actitudes de *curiosidad e interés por el mundo de las ciencias*, junto a las de valoración de las *implicaciones sociales de las ciencias* y, concretamente, las de *solidaridad y defensa del patrimonio natural*. Esa curiosidad e interés —al que el estudio de las implicaciones sociales de la ciencia puede, sin duda, contribuir— constituyen requisitos esenciales para ulteriores estudios científicos y, sobre todo, para la formación de ciudadanos en un mundo en el que la ciencia y la técnica juegan un papel determinante. En cuanto al desarrollo de la *actitud crítica* y de los diversos aspectos de las *actitudes científicas* —es decir, la valoración positiva y consecuente práctica de los procedimientos científicos— puede iniciarse en el primer ciclo, pero es lógicamente en el segundo cuando conviene hacer un especial énfasis en las mismas.

Encontramos acertadas, por otra parte, las referencias a la tolerancia y al respeto por las diferencias individuales y por las opiniones de los otros. Consideramos, sin embargo, que ese respeto por las diferencias debe ser matizado para que no se convierta en aceptación —y potenciación— de situaciones discriminatorias. En efecto, con demasiada frecuencia los profesores aceptamos las diferencias iniciales observadas en el desempeño de los alumnos y alumnas como expresión de su mayor o menor «capacidad», lo que produce expectativas distintas hacia esos alumnos y alumnas y, finalmente, una profundización de las diferencias iniciales y la aceptación del fracaso por los propios afectados. El respeto por las diferencias individuales ha de ir, pues, acompañado por *expectativas positivas acerca de la capacidad de cada alumno y alumna para hacer ciencia y para superar, con la ayuda adecuada, sus posibles deficiencias*.

En lo que se refiere al respeto de las opiniones ajenas y al valor del diálogo, es preciso también una matización en la que convendrá

profundizar durante el segundo ciclo: la relativa al *papel del conflicto* en la construcción de las ciencias, rompiendo con la simplificación que supone interpretar los conflictos como expresión de irracionalidad y obstáculo al «conocimiento objetivo» y resaltando el papel positivo que los conflictos han jugado y juegan en la transformación de las concepciones. Éste es un buen ejemplo de las muchas preconcepciones acerca del trabajo científico con las que es preciso romper, al tiempo que se potencia, a lo largo de ambos ciclos, la curiosidad, el interés crítico por la aventura científica y sus repercusiones y la adquisición de las actitudes que caracterizan la actividad científica.

4. Organización de los contenidos dentro de los ciclos

En el apartado anterior hemos presentado una posible secuencia para los contenidos de Física y Química que el Diseño Curricular Base propone para el conjunto de los cuatro cursos de la Educación Secundaria Obligatoria. De este modo, han quedado distribuidos los bloques de contenidos al tiempo que ofrecíamos sendos hilos conductores para su desarrollo en, respectivamente, el primer ciclo («La búsqueda de regularidades en un mundo diverso y cambiante», *cuadro 3*) y el segundo ciclo («La Física Clásica como revolución científica», *cuadro 4*). Expondremos, ahora, con algo más de detenimiento la organización de los contenidos dentro de cada ciclo y nos referiremos, en un último apartado, a la cuestión de las demandas que la secuencia propuesta hace a conocimientos de otras áreas.

4.1. *La búsqueda de regularidades en un mundo diverso y cambiante*

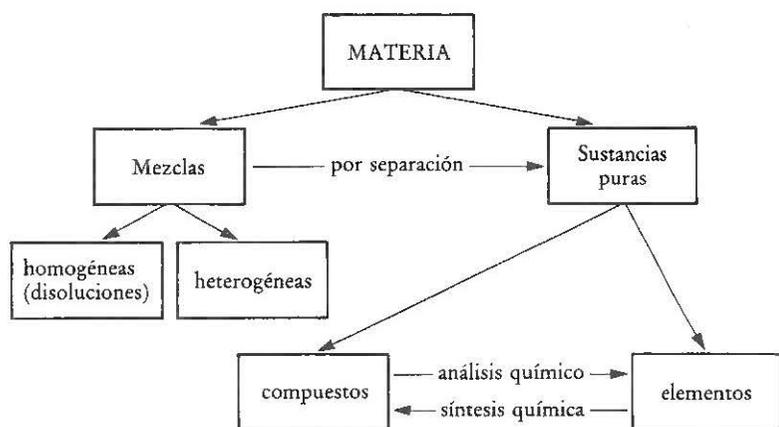
Nos remitimos al apartado 3.1. para las consideraciones generales acerca de la secuencia de los contenidos en el primer ciclo de la Educación Secundaria Obligatoria; el *cuadro 3* allí incluido presenta un posible hilo conductor centrado en la búsqueda de regularidades y comprensión de los cambios para cuatro dominios básicos: diversidad de los seres vivos, medio físico terrestre, diversidad de las sustancias y movimiento de los astros. Nos atenderemos a dicho hilo conductor y comentaremos más detenidamente los contenidos correspondientes a las Ciencias Físico-Químicas.

1. EL ESTUDIO DE LA DIVERSIDAD DE LAS SUSTANCIAS

Abordamos aquí un bloque de contenidos básicos, algunos de los cuales —estados de agregación, mezclas, ...— han sido ya trabajados en la Educación Primaria. Por otra parte, ideas como las de átomo, elemento, disolución, ... forman hoy parte del lenguaje corriente. Podría, pues, pensarse que la comprensión de la diversidad de las sustancias y de sus transformaciones no plantea excesivos problemas. Sin embargo, numerosas investigaciones han mostrado la abundancia de concepciones erróneas y la dificultad de los alumnos, al final de su educación secundaria para explicar adecuadamente la naturaleza discontinua de la materia (Anderson 1990) o incluso para distinguir entre mezcla y compuesto (Sanmartí 1989). Conviene, pues, proceder aquí a un estudio detenido del problema de la diversidad de las sustancias y sus transformaciones.

Dos son, básicamente, las líneas de investigación que condujeron históricamente al establecimiento de la estructura corpuscular de la materia, y ambos pueden ser planteados a los alumnos, con las debidas simplificaciones: por una parte, *el estudio de las propiedades de los gases*, por ser el estado gaseoso aquel en el que las sustancias presentan un comportamiento físico más simple (todos los gases se comportan de forma muy parecida, mientras que entre las sustancias al estado líquido y, más aún, al estado sólido, existen enormes diferencias). El estudio detenido de las propiedades de los gases (concibiendo y realizando pequeñas experiencias cualitativas, teniendo en cuenta situaciones ilustrativas de la vida corriente, etc) y los intentos de interpretación conducen a concepciones corpusculares que, a su vez, permiten predecir y contrastar experimentalmente las leyes de los gases. Este estudio se convierte así en un sólido apoyo a la concepción discontinua de la materia.

La segunda línea de investigación es la relativa a la búsqueda de orden en el enorme cúmulo de sustancias con propiedades distintas que encontramos en la naturaleza. La hipótesis corpuscular elaborada al estudiar los gases permite ahora, con relativa facilidad, introducir orden en la confusión inicial. Se puede llegar así a *construir* un mapa conceptual como el de la figura, a concebir un modelo elemental para la interpretación de las reacciones y a realizar predicciones contrastables respecto a las cantidades de sustancias que intervienen en un proceso químico.



Se trata de una línea de investigación —al igual que la del estudio de los gases— con un marcado carácter experimental, que puede constituir una atractiva introducción al trabajo químico, incluyendo separaciones de sustancias, determinación de propiedades, preparación de disoluciones, realización de reacciones elementales, etc.

Un estudio que puede derivarse de esta línea de investigación sobre la diversidad de las sustancias y sus transformaciones es el relativo a los fenómenos caloríficos: basta reflexionar acerca de lo que supuso para la humanidad el descubrimiento y utilización del fuego, que permitió pasar del simple y precario aprovechamiento de la naturaleza a la transformación activa de la misma. Proponemos, pues, la inclusión del estudio del Calor, por su relación con las transformaciones de las sustancias, por su interés como ejemplo del nacimiento de una ciencia y por su misma contribución a la concepción corpuscular de la materia. Dicho estudio podría comprender:

- la fenomenología del calor: primeras ideas y observaciones;
- el nacimiento de la ciencia del calor: invención del termómetro e introducción del concepto de temperatura;
- el estudio más detenido de algunos fenómenos caloríficos: intercambios de calor entre los cuerpos, dilataciones, cambios de estado, calentamiento por fricción;
- primera explicación de los fenómenos caloríficos: la teoría del calórico;
- dificultades de la teoría del calórico: nuevas concepciones que relacionan el calor con el movimiento de las partículas.

Conviene precisar que no se trata necesariamente de llegar hasta la concepción actual del calor como forma de transferencia de energía, que supone la plena integración del Calor en el marco teórico de la Mecánica: es en el cuarto curso de esta Educación Secundaria donde se puede profundizar mejor en estas cuestiones.

Los tres estudios que aquí hemos propuesto —«comportamiento físico de los gases», «diversidad de las sustancias» y «calor»— mantienen una estrecha relación y favorecen la realización de investigaciones pre-teóricas, adecuadas para niños y niñas de 13 y 14 años. Su carácter eminentemente experimental y su relación con innumerables situaciones de la vida práctica, favorecen el interés por estos estudios, constituyendo formas muy adecuadas de iniciación a las ciencias físico-químicas. Por otra parte, se trata de líneas de investigación que ayudan a plantear nuevas cuestiones, más precisas (por ejemplo: ¿cómo explicar las uniones entre partículas en las distintas sustancias?) creando así expectativas para la prosecución de los estudios de ciencias en el ciclo superior.

2. LA BÚSQUEDA DE REGULARIDADES EN EL MOVIMIENTO DE LOS ASTROS

Si la búsqueda de orden no es siempre fácil, como hemos visto hasta aquí, por lo que se refiere a los objetos y fenómenos terrestres —ya sea en el dominio de los seres vivos, en el del medio físico o en el de la multiplicidad de las sustancias— la situación es radicalmente distinta cuando dirigimos la atención al firmamento: la regularidad y la permanencia parecen aquí la regla. Asomarse al estudio de esas regularidades permite conectar con problemas que han interesado y ocupado a la humanidad durante milenios, con hondas repercusiones en la historia de la cultura y de las concepciones de los hombres. Y aunque el heliocentrismo forme parte hoy de las concepciones aceptadas por los ciudadanos de a pie, esa aceptación es más el fruto de una presión cultural que una asunción fundamentada.

Proponemos, pues, rehacer en cierto modo esa extraordinaria aventura intelectual que va desde la observación del firmamento y el establecimiento de regularidades (tan claras que se convierten en patrones para la medida del tiempo) a la construcción de modelos interpretativos/predictivos y evolución de los mismos. Se trataría así de que los alumnos profundizaran en la hipótesis geocéntrica, abordando el problema de los astros «errantes» (planetas) —los únicos cuyo movimiento escapa, aparentemente, a la regularidad general— haciéndoles imaginar posibles explicaciones compatibles con el geocentrismo y llevándoles a confrontarlas después con las concepciones vigentes hasta la época de Copérnico.

La introducción de la hipótesis heliocéntrica ha de dar respuesta a numerosas dificultades («paralaje de las estrellas», etc) que los alumnos deberían abordar, confrontando sus explicaciones con p.e., la lectura de fragmentos de «De Revolutionibus».

Todo este estudio —que incluye observaciones cualitativas y cuantitativas del firmamento, etc— permite asomarse, insistimos, a uno de los procesos más apasionantes y dramáticos del pensamiento humano. Conviene, pensamos, hacer vivir ese dramatismo —ausente en la enseñanza habitual— como un ejemplo de las complejas relaciones ciencia/sociedad y, concretamente, de la relación entre pensamiento científico, dogmatismo y libertad de pensamiento. El visio-nado, a posteriori, de películas como «Galileo Galilei» de Liliana Cavani o la representación de fragmentos de la obra de igual título de Berthold Brecht, puede contribuir a recrear la densidad dramática en la que se desarrolló la construcción de estos conocimientos.

Las relaciones ciencia/técnica/sociedad aparecen también en este bloque en torno a la necesidad de instrumentos de observación más eficaces que el ojo desnudo (¡y no sólo destinados a contemplar las estrellas!). Abordar esta cuestión puede dar paso al estudio de la propagación de la luz e invención de instrumentos ópticos elementales.

Digamos, para terminar, que el estudio del movimiento de los astros puede conectarse con el de los movimientos terrestres, de características —al menos aparentemente— muy distintas. Se puede proceder así a una introducción muy elemental a la cinemática.

En conjunto —y al igual que ocurría en los dominios precedentes— los estudios aquí realizados se adaptan perfectamente al objetivo básico de potenciar el interés de los alumnos por el mundo de las ciencias e iniciarles a la realización de investigaciones simples, de carácter pre-teórico. La cuestión del geocentrismo versus heliocentrismo permite, además, entrar en contacto con aspectos esenciales de la construcción de los conocimientos científicos: su carácter subversivo de los dogmas y evidencias de sentido común y las dificultades con que se enfrenta todo cambio profundo de concepciones.

Se puede ahora pasar —tal como proponemos en el *cuadro 3*— a una recapitulación del trabajo realizado durante el primer ciclo, deteniéndonos particularmente en la visión de la actividad científica alcanzada hasta aquí y, sobre todo, en los problemas relevantes que quedaron planteados ... para su estudio durante el segundo ciclo.

4.2. *La Física Clásica como revolución científica*

La secuenciación que hemos propuesto para los contenidos de Física y Química en la Educación Secundaria Obligatoria quedó sintetizada en el *cuadro 4* y fue comentada en el apartado 3.2. Nos referíamos allí a que este curso está concebido como una primera aproximación al imponente cuerpo teórico que conocemos hoy como Física Clásica, resaltando su carácter de ruptura —conceptual y metodológica— con la Física aristotélico-escolástica o Física del sentido común. Seguiremos aquí el hilo conductor reflejado en dicho cuadro, añadiendo los comentarios y aclaraciones que puedan ser útiles para la comprensión de la secuenciación y organización de los comentarios que proponemos.

1. LA FÍSICA DEL SENTIDO COMÚN

Una de las problemáticas que quedaron planteadas tras los estudios realizados durante el primer ciclo fue la relativa a la comprensión del movimiento. Se trata, por otra parte, de uno de los dominios en el que las preconcepciones de los alumnos son más abundantes y persistentes. Sacar a la luz dichas preconcepciones (relativas a la relación fuerza/movimiento, tiempo de caída de los cuerpos, diferencias entre los movimientos terrestre y celeste, etc) y llevar a cotéjarlas con ese importantísimo edificio conceptual que supuso la Física Aristotélica —máxima expresión de la Física del sentido común— permite que se valoren adecuadamente las ideas construidas por los alumnos como fruto de sus experiencias cotidianas y prepararles mejor para comprender el alcance de la revolución científica que supuso la Mecánica Clásica.

2. LA MECÁNICA CLÁSICA COMO RUPTURA CON LA FÍSICA DEL SENTIDO COMÚN

Digamos en primer lugar que los contenidos de este apartado —correspondientes al bloque 13 del DCB («Fuerzas y Movimiento»)

y parte del 3 («La Energía») — son muy amplios, por lo que no es concebible un tratamiento mínimamente detenido de los mismos. En nuestra opinión habría que priorizar los aspectos que mejor reflejan la ruptura con la Física del sentido común, es decir:

- (a) la clarificación del concepto de fuerza y de las relaciones entre fuerza y movimiento, hasta llegar a los Principios de la Dinámica y
- (b) la profundización en el estudio de los movimientos celestes hasta llegar a la síntesis newtoniana de las mecánicas terrestre y celeste, que supuso un paso fundamental en el establecimiento de la unidad de la materia.

Por lo que se refiere al tratamiento de las relaciones trabajo/energía y establecimiento del principio de conservación y transformación de la energía, se puede pensar en profundizar el tratamiento cualitativo iniciado incidentalmente durante el primer ciclo. No es previsible, sin embargo, que se pueda proceder a un tratamiento cuantitativo mínimamente riguroso, que exigiría un tiempo del que no se dispone. (No debe olvidarse, además, que se trata de conceptos complejos cuya construcción tan sólo pudo ultimarse avanzado ya el siglo XIX.)

En cuanto al estudio, que sugiere el DCB, de aplicación de la mecánica a situaciones de interés en la vida cotidiana (fuerzas de rozamiento, efecto de las fuerzas sobre sólidos, fuerzas en fluidos ...) se puede pensar en elegir alguna de estas situaciones a modo de ejemplo, en vez de intentar un tratamiento de conjunto que habría de resultar excesivamente superficial y, en consecuencia, carente de interés.

3. EL TRABAJO CIENTÍFICO COMO REVOLUCIÓN METODOLÓGICA

La construcción de la Física Clásica no sólo supuso un profundo cambio conceptual —rompiendo con la Física del sentido común— sino, simultánea y solidariamente, un cambio metodológico igualmente profundo. Resaltar esa revolución metodológica —o, si se prefiere, epistemológica— se convierte en un requisito ineludible para una correcta comprensión del trabajo científico. Los alumnos están ahora en situación de reflexionar explícitamente sobre las características de la nueva metodología y de comprender sus semejanzas y diferencias con el pensamiento común. El debate en torno a estos aspectos, la lectura de algunos textos, etc, puede contribuir a que los alumnos rompan con visiones deformantes y valoren lo que supone

la nueva orientación como forma de tratar los problemas a la vez más creativa y más rigurosa.

Proponemos, pues, un tratamiento explícito que complete la práctica reiterada de los procedimientos generales y básicos para la resolución de problemas científicos. Dicho tratamiento podría concretarse en el estudio de las características generales del trabajo científico y en el modo de crecimiento de las ciencias, evitando, por supuesto, cualquier reducción simplista a «etapas» aplicables mecánicamente. En este marco puede también procederse — teniendo en cuenta el papel de la cuantización en el trabajo científico — a un somero análisis de los procesos de medida y fiabilidad de los resultados.

4. EL DESARROLLO DEL PARADIGMA CLÁSICO

Los contenidos de este bloque permiten mostrar cómo la nueva forma de abordar los problemas potenció el rápido desarrollo de dominios como la electricidad, etc, que siglos de precencia apenas habían hecho avanzar. Y permiten también — señalábamos ya en el apartado 3.2. — salir al paso de una visión puramente analítica del trabajo científico, mostrando cómo dominios aparentemente desligados (electricidad, óptica,...) se integran en un mismo marco conceptual. Pero, una vez más, se trata de contenidos excesivamente amplios, siendo necesario optar por el tratamiento más detenido de alguno. En nuestra opinión habría de ser la electricidad el tratado más extensamente para, por una parte, profundizar en la estructura de la materia y, por otra, mostrar su papel en la producción y transporte de la energía que exige una sociedad industrial.

El estudio de las ondas puede ser menos detenido, aunque sí lo suficiente para poder resaltar la integración de la óptica en la Teoría Electromagnética y el enorme campo de aplicaciones tecnológicas abierto por las ondas electromagnéticas. Puede ser interesante también introducir la idea de cuantización, que en la Física Clásica aparece únicamente en relación con las ondas estacionarias.

Por último —y pese a que los contenidos de este curso resultan inabarcables— hemos creído necesario incluir una introducción (muy breve y puramente cualitativa) a la crisis de la Física Clásica y surgimiento de la Moderna. Con ello, perseguimos evitar cualquier impresión de ciencia acabada que pudiera dar el impresionante desarrollo de la Física Clásica, y facilitar una mejor comprensión de las nuevas ideas acerca de la estructura de los átomos y el enlace, es decir, sobre la Química Moderna, que constituye el último gran bloque de contenidos de este curso.

5. LA ERA DE LA QUÍMICA (INTRODUCCIÓN A LA QUÍMICA MODERNA)

Con la introducción a la revolución conceptual que supuso la Física Cuántica que hemos propuesto en el apartado anterior, se hace posible tratar de una forma correcta la evolución de los conocimientos sobre la estructura de la materia (desde la profundización en el modelo atómico-molecular hasta el establecimiento de la estructura de los átomos y teorías del enlace).

Dada la amplitud de este bloque —en el que puede incluirse gran parte de la Química— se hacen necesarias, una vez más, opciones sobre prioridades: además de tratar con cierto detenimiento la estructura del átomo —que ha de permitir dar cuenta de las semejanzas entre elementos (Sistema Periódico), de los enlaces y de las transformaciones químicas— parece oportuno centrarse, como se sugiere en el DCB, en la Química del Carbono, que constituye un nuevo nivel de organización de la materia. Los alumnos pueden enfrentarse así a una nueva barrera —vigente todavía en el siglo XIX— en la construcción de una imagen unitaria de la materia: la existente, según la teoría vitalista, entre las sustancias minerales o inorgánicas y las procedentes de sustancias vivas u orgánicas, que no podrían ser sintetizadas en el laboratorio. Es, quizás, un buen momento para revisar toda la serie de barreras que a lo largo de la historia de la ciencia se han opuesto a una imagen unitaria de la materia. Y puede ser también el momento de matizar la idea de unidad completándola con la de existencia de distintos niveles de organización con propiedades y leyes diferentes: no debe esconderse, por ejemplo, que existe realmente una diferencia cualitativa, profunda, entre el comportamiento del carbono y el del resto de los elementos; una diferencia que, aunque explicable por los mismos principios de estructura electrónica que justifican las propiedades de cualquier elemento, debe ser resaltada porque sienta las bases para el surgimiento de la vida: enormes posibilidades de combinación, variación muy gradual de propiedades de unos compuestos a otros, fáciles transformaciones con pequeños intercambios energéticos...

6. RECAPITULACIÓN

Una vez más proponemos una recapitulación final que resalte tanto los progresos realizados y las perspectivas abiertas como los problemas de interés que quedaron planteados. Por tratarse del final de los estudios científicos de la Educación Secundaria Obligatoria, consideramos conveniente incluir en esa recapitulación una panorámica de las ciencias en estas postrimerías del s. XX, así como un debate

fundamentado en torno a las relaciones C/T/S como problema mayor en el desarrollo actual y futuro de la ciencia ... y de la vida misma en nuestro planeta.

4.3. *El problema de los conocimientos de otras áreas necesarios para la secuencia propuesta*

La referencia a los conocimientos que los alumnos deberían haber adquirido en otras áreas o en niveles precedentes se convierte a menudo en una (pseud) justificación de las dificultades de aprendizaje de nuestros alumnos: si estos, por ejemplo, fracasan en la resolución de problemas de Física, resulta habitual atribuir la responsabilidad a lo endeble de sus conocimientos matemáticos; del mismo modo, las dificultades en ciertos temas de Biología son imputados al desconocimiento de la Química Orgánica, etc. Sin negar, por supuesto, las estrechas relaciones entre muchos de los conocimientos estudiados en áreas y/o niveles distintos, queremos llamar la atención contra una secuenciación de los contenidos apoyada en demandas a otras áreas. Y ello por diversas razones:

En primer lugar, conviene recordar que no pocas dificultades de los alumnos para seguir con provecho una determinada enseñanza, provienen de que los prerrequisitos para el estudio a realizar son dados por sabidos sin proceder a una mínima revisión de los mismos. Y ello ocurre con cualquier conocimiento, incluidos los de la propia materia (impartidos, quizá, por el mismo profesor el curso precedente). A menudo, bastaría esa pequeña revisión para hacer desaparecer el obstáculo.

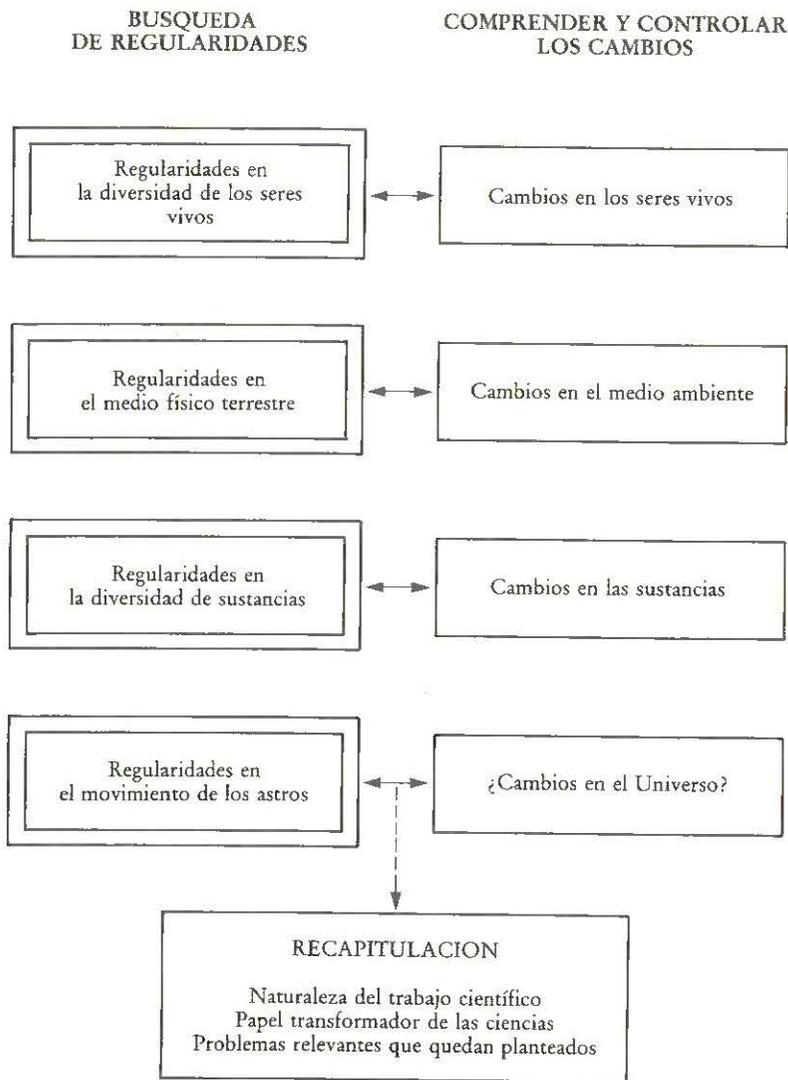
Por otra parte, algunos de los conocimientos que se consideran como prerrequisitos a proporcionar desde otras áreas, pueden tener una introducción funcional, ligada a problemas, en la propia área: es el caso de conceptos como los de derivada, integral, etc, cuya introducción en Física tiene pleno sentido (en relación, p.e., a problemas en que la velocidad u otra magnitud varían) y que son considerados, incorrectamente, como simples prerrequisitos matemáticos (Casadella y Bibiloni 1985; Azcárate 1990).

Digamos, por último, que suele ser posible la introducción elemental de los conocimientos «auxiliares» necesarios para el estudio que se pretende realizar. Ello puede ocurrir, además, dentro de la propia materia: es lo que hemos hecho al referirnos a la conveniencia de una breve introducción cualitativa a la Física Cuántica, para favorecer una mejor comprensión de la estructura del átomo.

En definitiva, pues, la cuestión a plantearse no sería, en nuestra opinión, cuáles son las demandas a hacer a otras áreas, sino cuáles

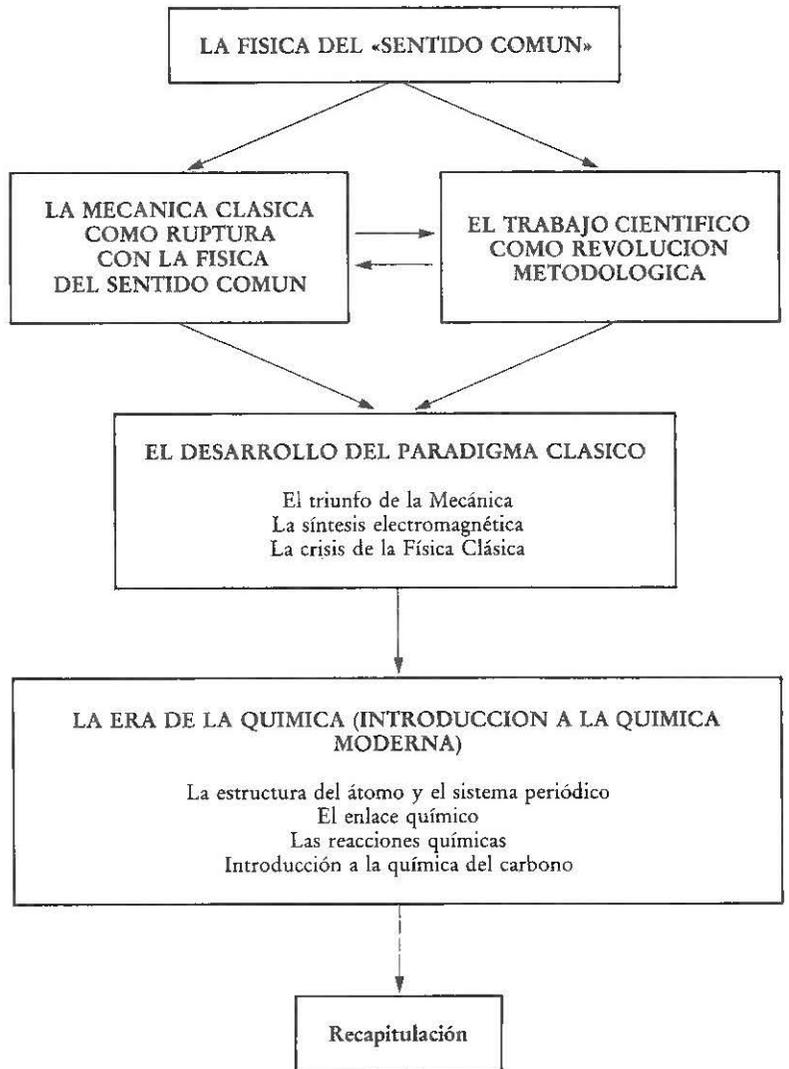
son los prerrequisitos a revisar —o, si necesario, introducir— procedan de otras áreas o de la propia. Ello no quiere decir, por supuesto, que se considere innecesaria la coordinación entre el profesorado de las distintas áreas y niveles. Muy al contrario, esta coordinación —que ha de comenzar con la elaboración de un Proyecto de Centro (Del Carmen 1990)— constituye un auténtico requisito, como ha mostrado la *effective school research* (Rivas 1986), para un funcionamiento efectivo de la escuela, teniendo una influencia determinante en los aspectos actitudinales (expectativas de éxito escolar, etc) y de comportamiento (defensa del medio, etc).

UN UNIVERSO COMPLEJO EN EL QUE LA DIVERSIDAD
Y EL CAMBIO
COEXISTEN CON LA REGULARIDAD Y PERMANENCIA



Cuadro 3

LA FISICA CLASICA COMO REVOLUCION CIENTIFICA



Cuadro 4

CAPÍTULO X

DISEÑO DE UNIDADES DIDÁCTICAS CONCRETAS: LOS PROGRAMAS-GUÍA DE ACTIVIDADES

Hemos dedicado el capítulo 9 a la consideración del curriculum de ciencias experimentales —y, más concretamente, de las ciencias físico-químicas— para la Educación Secundaria Obligatoria. Pero un currículo ha de terminar concretándose en una *planificación de actividades y tareas* para trabajar en el aula los contenidos de aprendizaje seleccionados. Más aún, como señalan Driver y Oldham (1986), quizá la más importante implicación del modelo constructivista, en el que se enmarcan nuestras propuestas didácticas, sea «concebir el currículo no como un conjunto de conocimientos y habilidades, sino como el programa de actividades a través de las cuales dichos conocimientos y habilidades puedan ser construidos y adquiridos».

Una idea muy similar había sido ya expuesta por nosotros (Furió y Gil 1978): «*La idea básica es que el desarrollo del tema ha de programarse a base de actividades a realizar por los alumnos, constituyendo lo que podríamos denominar un programa-guía. Con estas actividades se trata, en la medida de lo posible, de colocar a los alumnos en situación de producir conocimientos, de explorar alternativas, superando la mera asimilación de conocimientos ya elaborados.*»

Nos remitimos al capítulo 3 para la fundamentación de esta orientación constructivista y aquí nos centraremos en la elaboración de los programas-guía y en los problemas que su utilización puede plantear.

1. ¿Por qué elaborar programas de actividades?

La cuestión de por qué elaborar programas-guía surge a menudo entre quienes, estando de acuerdo con las orientaciones constructivistas, conciben la construcción de conocimientos como algo más flexible y abierto, menos dirigido por actividades programadas con antelación.

Si el aprendizaje de las ciencias ha de aproximarse a una investigación ¿no supone una contradicción la preparación de programas de actividades que fuercen el trabajo de los alumnos en direcciones preestablecidas?

Como ya hemos señalado, la idea básica que subyace en la elaboración de los programas-guía es favorecer que, a través de las actividades, los alumnos puedan construir y afianzar conocimientos, al tiempo que se familiarizan con las características básicas del trabajo científico y adquieren un interés crítico por las ciencias y sus repercusiones. Pero ello, exige que el conjunto de actividades posean una lógica interna que evite aprendizajes inconexos y procesos excesivamente erráticos. Dicho de otro modo, ello exige que las actividades estén cuidadosamente estudiadas para cubrir el contenido del tema objeto de estudio. No puede, pues, pensarse en actividades sueltas ni en una completa improvisación, sino en un verdadero *programa* de investigación que pueda orientar y prever el trabajo de los alumnos y proporcione a estos un hilo conductor que dé sentido a su trabajo. Conviene recordar aquí a este respecto, que no se está planteando el trabajo de los alumnos como una investigación «frontera» en dominios desconocidos para todos los investigadores, sino como investigaciones «réplica» como las que realizan los investigadores novatos, en dominios en los que el profesor puede jugar el papel de un experto director de investigaciones.

Por otra parte, aunque existe el peligro de que un programa se convierta en una camisa de fuerza —en la medida en que las actividades no hayan sido correctamente diseñadas para prever el trabajo de los alumnos como un proceso creativo—, el peligro de una falta de programación previa es sucumbir a la improvisación... del profesor.

La existencia de un programa estructurado de actividades puede favorecer también el trabajo colectivo de los alumnos, en el doble sentido de centrar la tarea de los pequeños grupos en torno a actividades bien definidas y de potenciar los intercambios entre dichos grupos y el profesor, lo que a su vez constituye una óptima forma de seguimiento del proceso de aprendizaje: detección de dificultades,

constatación de las adquisiciones, etc. (ver capítulo 7 sobre la evaluación).

Por último, queremos resaltar que un programa de actividades constituye un material didáctico «auto-correctivo»: los profesores podemos constatar qué actividades han funcionado y merecen ser retenidas, cuáles conviene modificar o eliminar, etc, adquiriendo así nuestro trabajo una componente investigativa (Driver y Oldham 1986) que rompe con planificaciones superficiales y nos obliga a un esfuerzo de profundización y creatividad.

2. ¿Cómo utilizar los programas-guía?

La utilización de los programas-guía está presidida por la idea de favorecer un trabajo colectivo en el doble sentido de estructurar la clase en pequeños grupos que van abordando las sucesivas actividades y de potenciar los intercambios entre dichos grupos.

El trabajo en equipos en una clase puede organizarse proponiendo tareas distintas a cada grupo que, al término de su trabajo, comunican sus producciones al conjunto de la clase para la necesaria puesta en común. Es posible también que todos los grupos realicen las mismas tareas, cotejando y discutiendo después sus respectivos resultados. Exponer posibles ventajas e inconvenientes de ambas orientaciones.

Nos remitimos aquí a lo expuesto en el apartado 3.2 del capítulo 3 sobre el trabajo en pequeños grupos y la necesidad de favorecer la máxima interacción entre ellos, a través de la cual los alumnos pueden asomarse a una característica fundamental del trabajo científico: la insuficiencia de las ideas y resultados obtenidos por un único colectivo y la necesidad de cotejarlos con los obtenidos por otros, hasta que se produzca suficiente evidencia convergente para que la comunidad científica los acepte; de ahí la importancia de los intercambios inter-grupos y la participación del profesor como «portavoz de otros muchos investigadores» (es decir, de lo que la comunidad científica ha ido aceptando como resultado de un largo y difícil proceso). Por ello, la forma de trabajo que proponemos para las clases difiere de la que es habitual en las clases organizadas en pequeños grupos, consistente en proponer tareas de una cierta extensión que cada grupo elabora autónomamente —con ocasionales ayudas que puede solicitar del profesor— para pasar a una puesta en común posterior, al término del trabajo. Este sistema presenta, en nuestra opinión, 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.
- Imposibilidad de que el profesor satisfaga las peticiones de ayuda de los pequeños grupos, que suelen solicitarse simultáneamente sobre aspectos diferentes.

Todas estas dificultades —y, sobre todo, la razón básica que hemos fundamentado más arriba, de posibilitar un continuo intercambio entre los grupos— nos han llevado a una forma de trabajo más estructurada consistente en que, tras la realización de cada actividad se produzca una puesta en común antes de pasar a la siguiente. Ello permite al profesor reformular y sintetizar, si fuera necesario, las aportaciones de los grupos, orientando al propio tiempo la actividad siguiente. 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 necesario que el profesor juegue un papel activo, centrando las intervenciones y realizando en el momento oportuno una reformulación globalizadora. A este respecto, no es conveniente esperar a que todos los grupos hayan terminado antes de pasar a la puesta en común, lo que podría entorpecer el ritmo normal de la clase. En realidad, la puesta en común ofrece la posibilidad de completar el trabajo pendiente en algún grupo y, por otra parte, una cierta tensión positiva para que el trabajo se haga ágilmente —dentro de ciertos límites que el profesor ha de saber valorar— resulta beneficiosa, evitando la dispersión y el aburrimiento. El profesor debe, pues, estar atento al trabajo de los grupos y saber pasar a la discusión general en el momento oportuno. Naturalmente, puede ocurrir en algunas ocasiones que el trabajo de los grupos haya sido ineficaz —quizá porque la actividad planteada era inadecuada, lo que obliga a su modificación— o bien, lo que sucederá más frecuentemente, que dicho trabajo sea incompleto y el profesor deba, en sus reformulaciones, añadir información, etc. Pero el hecho de que esta información responda a problemas (Otero 1985) que los grupos se han planteado previamente la hace significativa para los alumnos, incluso cuando su trabajo ha resultado infructuoso.

En definitiva, pues, la forma en que utilizamos el programa-guía consiste en la realización ordenada de las actividades propuestas, se-

guida, cada una de ellas, en general, por una puesta en común, con reformulación del profesor que puede así ayudar a clarificar y completar el trabajo de los pequeños grupos.

3. ¿Cómo elaborar los programas-guía?

¿Cómo diseñar programas de actividades que hagan posible la construcción de conocimientos por los alumnos? Sin duda, es esta una cuestión fundamental y para la que sólo hay una respuesta posible: mediante un constante trabajo de investigación aplicada (Gil 1982; Driver y Oldham 1986). Un trabajo que comience teniendo en cuenta las aportaciones de la investigación en el diseño de las actividades y que someta a contrastación experimental la viabilidad de cada actividad —de su conjunto— para favorecer un aprendizaje significativo y generar actitudes positivas hacia ese aprendizaje.

Desde ese punto de vista, un programa-guía aparece como algo siempre en (re)elaboración, sometido a retoques, añadidos y, a menudo, remodelaciones totales, fruto de la experiencia obtenida en su aplicación y de las nuevas aportaciones de la investigación didáctica. Ello supone, sin duda, mucho más trabajo para el profesorado, pero al mismo tiempo concede a dicho trabajo todo el interés de una investigación, de una tarea creativa, lo que, sin duda, es uno de los requisitos esenciales para una acción docente eficaz y satisfactoria (Gil 1985).

Este carácter de investigación de la elaboración de los programas-guía hace ver la incoherencia que supondría cualquier intento de formalizar la confección en base a esquemas más o menos rígidos. Sin embargo, es necesario también evitar una confección errática que carezca de una cierta estrategia. Así, por ejemplo, en el caso de Driver y su equipo de la Universidad de Leeds (Driver 1986), los programas de actividades se ajustan a una estrategia que puede resumirse en: (1) identificación de las ideas de los alumnos; (2) puesta en cuestión de dichas ideas mediante contraejemplos; (3) invención o introducción de nuevos conceptos y (4) utilización de las nuevas ideas en diversos contextos. Se trata, claramente, de una estrategia de cambio conceptual que —como ha mostrado Pozo (1989)— es básicamente común en los modelos de enseñanza desarrollados en los últimos años.

Comentar las estrategias de cambio conceptual como la propuesta por Driver (1986) y sugerir, en su caso, otras estrategias para orientar la elaboración de programas de actividades.

En el capítulo 3 mostramos ya nuestras reservas hacia las estrategias orientadas explícitamente a provocar cambios conceptuales y expusi-

mos la que nos parece una orientación más coherente con los planteamientos constructivistas, consistente en el *tratamiento de situaciones problemáticas*. De acuerdo con esta orientación, la primera cuestión a contemplar sería la elaboración de *actividades que proporcionen una concepción e interés preliminar por la tarea*. Ello obliga, por supuesto, a tener en cuenta las ideas, visión del mundo, destrezas y actitudes que los alumnos pueden ya poseer, de forma a conectar con sus intereses (y generar otros nuevos), tener presente los prerrequisitos para el estudio a realizar, etc. Pero lo esencial es que los alumnos adquieran una primera concepción de la tarea a realizar, planteada funcionalmente, es decir, como *tratamiento de situaciones problemáticas de interés*; situaciones que conecten con el hilo conductor establecido para el conjunto de la asignatura y que proporcionen sentido al trabajo a realizar, adquiriendo así un carácter *estructurante* de la tarea. Insistimos por ello en la importancia de esta fase inicial, a la que conviene dedicar el tiempo necesario para que los alumnos lleguen a tener una cierta idea de la problemática a la que se enfrentan y del hilo conductor para su estudio.

El desarrollo de un tema puede verse ahora como el tratamiento de la problemática planteada; un tratamiento que ha de ser inicialmente cualitativo —lo que constituirá una excelente ocasión para que los alumnos comiencen a explicitar funcionalmente sus preconcepciones— y conducir a la formulación de problemas más precisos y a la construcción de hipótesis que focalicen el estudio a realizar.

Es en esta construcción de hipótesis donde las ideas espontáneas de los alumnos pueden aparecer con mayor facilidad, al tiempo que su estatus de hipótesis de trabajo evita la frecuente sensación de cuestionamiento personal que la explicitación de las «ideas propias» y posterior confrontación en situaciones «conflicto» genera.

Recordemos también que al hablar de construcción de hipótesis no nos referimos exclusivamente a investigaciones experimentales: como hemos intentado mostrar en los capítulos 1, 2 y 3, todo el trabajo de construcción de conocimientos puede plantearse como tratamiento de situaciones problemáticas. Así, por ejemplo, la introducción de magnitudes como «cantidad de movimiento» o «intensidad de corriente», tiene inicialmente el carácter de una hipótesis de trabajo destinada a ser contrastada a través de la validez global del cuerpo de conocimientos construido con su uso. Ello está de acuerdo con la unidad de tratamiento preconizada en el Diseño Curricular Base para los contenidos conceptuales, procedimentales y actitudinales (ver capítulo 9) y supone el recurso sistemático a actividades características del trabajo científico, como la elaboración de estrategias de resolución (incluidos los diseños experimentales), la realización de experimentos o el análisis de los resultados obtenidos.

Este análisis de los resultados obtenidos por los alumnos y/o por otros colectivos, puede, por supuesto, generar conflictos cognoscitivos y conducir a la emisión de nuevas hipótesis que conduzcan a la (re)construcción de las concepciones científicas. Pero ello se produce, insistimos, de una forma funcional, como resultado de un tratamiento de problemas y no como confrontación entre concepciones «personales» y «científicas».

El manejo reiterado de los nuevos conocimientos en una variedad de situaciones —incluidas aquellas que permiten detectar la persistencia de preconcepciones, etc— hará posible la profundización y afianzamiento de los mismos, mostrando su carácter de cuerpo coherente. Para ello se puede recurrir a actividades que vayan desde el establecimiento de semejanzas y diferencias, límites de validez de expresiones y leyes, estimación semicuantitativa de cantidades, etc, hasta la resolución de problemas de lápiz y papel, planteados como situaciones abiertas a investigar en el marco del cuerpo de conocimientos construido.

Por otra parte, es necesario tener muy presente en todo este tratamiento las complejas relaciones C/T/S que enmarcan el desarrollo científico. De este modo, pueden incluirse actividades muy diversas, como la lectura y discusión de noticias científicas, visitas a laboratorios y fabricas (o, mejor, estancias de trabajo en los mismos), estudio de situaciones de interés en la vida práctica, toma de decisiones y dramatizaciones en torno a situaciones conflictivas, etc.

Nos referiremos, por último, a las actividades que podríamos denominar de «recapitulación y perspectivas» que deberían conducir, en lo posible, a la elaboración de *productos* destinados a ser presentados y comentados en la clase y/o, en ocasiones, mostrados a otros colectivos (otras clases, otros centros y público en general). Podemos considerar así la reelaboración de la información obtenida construyendo esquemas, síntesis, mapas conceptuales (Novak y Gowin, 1988)... que permita a los alumnos consolidar una visión global y disponer de un material adecuado para las necesarias revisiones. Puede pensarse también en la confección de artículos, posters, etc, sobre temas científicos —y, muy concretamente, de relación C/T/S—, la construcción de aparatos científicos sencillos, la organización de colecciones de material científico, etc.

Para el diseño de las actividades puede recurrirse al uso del ordenador en muy distintas formas —simulación de experimentos, modelizaciones, ejercicios de autorregulación, etc (Risley y Redish 1989; Barberá y Sanjosé 1990). No se trata, por supuesto, de sustituir mediante el ordenador la realización de experimentos, etc, sino de ofrecer nuevas posibilidades, sin sucumbir —como advierte justamente McDermott (1990)— a la presión de una publicidad agresiva o a pre-

sentaciones atractivas que pueden interferir la apreciación objetiva del valor de los programas con que se empieza a inundar el mercado.

Conviene también tener presente, en todo el diseño de actividades, el papel que puede jugar la historia de las ciencias, no sólo para contextualizar los conocimientos científicos y mostrar su evolución y las interacciones C/T/S, sino, fundamentalmente, para hacer posible una comprensión profunda de la materia estudiada y de la misma naturaleza de la ciencia. Estamos asistiendo precisamente a una decidida aproximación entre los campos de la Historia y Filosofía de la ciencias y la Didáctica de las ciencias (Navarro 1983; Moreno 1986; Gagliardi y Giordan 1986; Matthews 1990). Por nuestra parte (Calatayud et al 1990) hemos recurrido con provecho a la historia de las ciencias para extraer los problemas cuyo estudio condujo —y puede conducir a los alumnos— a la construcción de los conocimientos, para prever algunas de las dificultades que dicha construcción puede plantear (Saltiel y Viennot 1985; Furió et al 1987), concebir posibles diseños experimentales, y, en general, llevar a los alumnos a cotejar sus resultados, dificultades, etc, con las de la comunidad científica, reforzando así su trabajo.

Digamos para terminar que conviene proceder a periódicas evaluaciones de las formas de trabajo en clase, dejando que los grupos planteen aquellas cuestiones y problemas de funcionamiento que les resulten más relevantes. Esta evaluación es esencial en el proceso de investigación/acción que exige la elaboración de los programas-guía de actividades (Driver y Oldham 1986): qué actividades funcionan y cuáles no; hasta qué punto los alumnos perciben cuál es el hilo conductor del tema o se sienten simplemente arrastrados de actividad en actividad; cuál es el interés de las propuestas de trabajo; en qué medida se produce o no un aprendizaje significativo, ... Todas estas cuestiones exigen una contrastación experimental, en la que la valoración de los propios alumnos ha de jugar un papel fundamental.

Los anexos E y F incluyen, a título de ejemplo, dos programas-guía de actividades para alumnos de 15-16 años, incluyendo comentarios para el profesor en los que se describen los resultados previsibles de las actividades propuestas, se justifica el hilo conductor, etc (Calatayud et al 1990).

4. A modo de conclusión: ¿qué inconvenientes puede presentar el uso de programas de actividades?

No queremos terminar sin mencionar algunos posibles inconvenientes del uso de programas-guía —elaborados y utilizados por numerosos equipos (Furió y Gil 1978; Grup Recerca 1980/82; Gutiérrez

y Rodríguez 1987; Hierrezuelo et al 1989; Calatayud et al 1990)— y, en general, de los planteamientos constructivistas del aprendizaje. Nos referimos a inconvenientes reales que es preciso tener muy en cuenta y para los que sólo existen respuestas parciales, que exigen delicados equilibrios no siempre fáciles de lograr o mantener. Comentaremos brevemente algunos de estos inconvenientes con objeto, fundamentalmente, de salir al paso de expectativas simplistas y empobrecedoras soluciones-milagro.

Señalar posibles inconvenientes de la sustitución de la transmisión de conocimientos ya elaborados por programas de actividades para la construcción de dichos conocimientos.

Una de las críticas más frecuentes a cualquier propuesta didáctica diferente de la simple transmisión/recepción de conocimientos es la gran cantidad de tiempo que precisan los planteamientos activos (o, si se prefiere, las dificultades con que tropiezan para cubrir los programas).

Es cierto que los programas enciclopédicos son una de las barreras fundamentales para un correcto planteamiento de la enseñanza/aprendizaje y que una drástica reducción de los currícula es una antigua y fundamentada reivindicación (Piaget 1969; Linn 1987) que ofrece elementos de respuesta a la crítica mencionada. Y es cierto también que *es precisamente* en la medida en que una estrategia de aprendizaje exige tiempo, que un auténtico aprendizaje se hace posible: los tratamientos rápidos no pueden producir más que visiones superficiales y, a menudo, confusas.

Por otra parte, no puede decirse que no importa la mayor o menor cantidad de materia que se estudia: un aprendizaje significativo exige unos contenidos mínimos que muestren el carácter de cuerpo coherente de los conocimientos científicos (Hodson 1985). Así, pues, el problema del tiempo no puede despacharse como una cuestión irrelevante: es preciso un equilibrio nada fácil entre las necesidades contrapuestas de profundización y de visión coherente.

Un segundo peligro, al que ya hicimos referencia en el apartado 1, procede de la posible rigidez que la existencia de un programa de actividades predeterminadas puede introducir. Es de nuevo un peligro real y no basta con replicar —como hicimos en dicho apartado— que la ausencia de tal programa se traduce en improvisación...del profesor, es decir, en actividad del profesor a expensas de la de los alumnos. Es preciso ser consciente de los peligros de rigidez y permanecer atentos a la coherencia entre lo que prevemos que generarán las actividades diseñadas y lo que realmente ocurre en la clase. Y es preciso la máxima flexibilidad para modificar el programa

—incluso «sobre la marcha»— durante el desarrollo de una clase.

En asociación al peligro anterior, se critica en ocasiones la «rigidez metodológica» de los programas-guía y se propone un eclecticismo que no excluya ni la transmisión de conocimientos ya elaborados («no se puede negar que, en ocasiones, la explicación del profesor puede ser eficaz») ni un trabajo individualizado («¿Por qué siempre un trabajo en grupos?»). Digamos simplemente a este respecto que el propósito de los programas-guía es evitar la tendencia espontánea a primar la actividad del profesor. Ello exige, repetimos, una cuidadosa —al tiempo que flexible— programación de actividades, pero no excluye, muy al contrario (como ya hemos puntualizado repetidamente) las intervenciones del profesor, ni tampoco que alguna actividad pueda consistir en escuchar una exposición del profesor (para extraer individualmente y/o mediante discusión en grupo las ideas clave) o en la lectura y comentario de un texto. Lo esencial, repetimos, es primar la actividad de los alumnos, su construcción de conocimientos, y evitar que —en aras de un ecléctico «todo vale»— todo siga más o menos como siempre.

También se menciona —y cada vez con mayor frecuencia— el peligro de que los alumnos no deseen realizar el esfuerzo que supone trabajar las actividades y prefieran escuchar del profesor lo que hay que aprender; o bien que esta forma de trabajo les desorienta y les conduce a aprendizajes inconexos, faltos de coherencia, por lo que prefieren el orden de una explicación; o bien, simplemente, que se aburren y no desean implicarse en las tareas que se les proponen, encontrando menos molesto escuchar o aparentar que escuchan (White y Gunstone 1989). Todos ellos son peligros muy reales: trabajar con programas-guía no es una garantía para conseguir el entusiasmo de los alumnos, y las actividades pueden carecer, efectivamente, de interés o el profesor puede no llegar a transmitir su pasión por aquello que se está estudiando (o incluso no tenerla).

Los peligros son, efectivamente, muchos y es preciso ser conscientes de ellos; de aquí el papel fundamental que debe darse a una evaluación continua. Y no nos referimos únicamente a la evaluación del aprendizaje conseguido por los alumnos, sino también de su interés (¡y el del propio profesor!) por lo que se está haciendo. Precisamente, la elaboración de los programas-guía (y no su simple aplicación) y, en definitiva, un trabajo colectivo de investigación/acción puede contribuir a aumentar el interés del propio profesor, sin el cual difícilmente puede lograrse una acción docente eficaz. En esa tarea abierta y creativa, tanto para los alumnos como para los profesores, que constituye una característica esencial del modelo constructivista, podemos encontrar una respuesta parcial —y nunca definitiva— a algunas de las dificultades.

RECAPITULACIÓN

ALGUNAS CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS

Hemos insistido a lo largo de esta Didáctica en la necesidad de romper con una práctica basada en las concepciones docentes espontáneas, resultado de una formación «ambiental» adquirida a lo largo de los muchos años vividos en la escuela como alumnos. Se trata de una formación que tiene un gran peso por su carácter reiterado y que aparece como «natural», lo que le hace escapar a la crítica.

Ser conscientes de este peligro es absolutamente necesario, pero ello no garantiza la superación de todas las barreras que pueden estar dificultando una orientación didáctica adecuada.

No basta, además, con conocer las dificultades de la enseñanza habitual por transmisión de conocimientos elaborados, que posee una indudable coherencia y no resulta fácilmente desplazable como lo prueba el fracaso de decenios de innovaciones e investigaciones didácticas presididas por la idea del «aprendizaje por descubrimiento». Quizá por ello el avance más significativo del momento actual sea el reconocimiento de la necesidad de un cuerpo de conocimientos que integre coherentemente los resultados de la investigación y de la práctica docente, haciendo emerger un nuevo paradigma de enseñanza/aprendizaje de las ciencias que desplace efectivamente al de transmisión/recepción de conocimientos elaborados.

Este libro ha constituido un intento de aproximación al nuevo paradigma emergente, en el que confluyen los trabajos de numerosos profesores e investigadores. Estamos convencidos de la efectividad de muchas de las propuestas que hemos desarrollado a lo largo de los

capítulos precedentes y que hemos aplicado sistemáticamente en nuestras clases. Pero somos conscientes también de los numerosos problemas que siguen planteados y de la necesidad de nuevos desarrollos.

Estamos todavía lejos, pues, de un modelo de enseñanza/aprendizaje de las ciencias sólidamente establecido, pero, en cualquier caso, el modelo que entrevemos contempla el trabajo de los alumnos y de los profesores como una actividad abierta, creativa, con las características de una investigación. Una actividad compleja que exige serios esfuerzos, pero también una actividad apasionante, como lo es el mismo trabajo científico.

Quisieramos haber contribuido, mínimamente, a transmitir este interés por la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias y que ello haya pesado más que los errores, las simplificaciones abusivas y los excesos críticos en que tememos haber incurrido —pese a los esfuerzos por evitarlos— dado que no somos, ni aspiramos a ser, «objetivos y desapasionados buscadores de La Verdad», sino simples protagonistas —con sus pasiones y sus fobias, su trabajo y sus carencias— de la transformación de la enseñanza/aprendizaje de las ciencias. Nos gustaría por ello terminar este libro proponiendo a los lectores y lectoras una última actividad que dirija la crítica hacia el trabajo que les hemos presentado:

Extraer las principales «Tesis didácticas» que aparecen, explícita o implícitamente en los capítulos precedentes y enjuiciarlas críticamente. Señalar en particular las posibles insuficiencias y las cuestiones que exijan profundización.

Hemos intentado dar a esta Didáctica de las Ciencias un carácter interactivo que facilitase la reflexión personal y el distanciamiento crítico. Con esta última actividad desearíamos hacer más real esta interacción: solicitamos para ello que se nos hagan llegar aquellas críticas, observaciones, cuestiones, etc, que la lectura de este libro pueda haber generado y que los lectores y lectoras acepten compartir con nosotros, comprometiéndonos, por supuesto, a responder a todas las comunicaciones recibidas¹. Estamos seguros de que ello puede redundar en fecundos debates y abrir nuevas perspectivas ¡Gracias anticipadas!

1. Daniel Gil. Departament de Didàctica de les Ciències Experimentals. Universitat de València. C/ Alcalde Reig, 8. 46006. València

ANEXO A

UN TRABAJO PRÁCTICO COMO INVESTIGACIÓN

El trabajo práctico que se presenta a título de ejemplo está intercalado en el tema de cinemática que se describe en Calatayud et al (1990). En el momento de plantearlo los alumnos ya han estudiado las magnitudes necesarias para la descripción de un movimiento así como las ecuaciones generales de algunos tipos sencillos de movimientos (uniforme y uniformemente acelerado). Hemos elegido este ejemplo porque se trata de una práctica muy conocida por la generalidad de los profesores, lo que permitirá constatar más fácilmente las diferencias entre nuestra propuesta y las prácticas habituales.

INVESTIGACIÓN DE LA NATURALEZA DE UN MOVIMIENTO REAL: LA CAÍDA DE GRAVES

Introducción

(Presentada verbalmente y/o por escrito a los estudiantes)

Una vez realizado el estudio general de la cinemática (introducción de magnitudes que permiten determinar la posición, el cambio de posición, etc... y las relaciones entre las mismas), vamos a ocuparnos de movimientos concretos con objeto de determinar su naturaleza. Comenzaremos por un movimiento que se presenta frecuentemente en la práctica: la caída de los cuerpos.

La importancia de este tipo de movimiento, aparte de su interés

práctico, estriba en que, en cierto modo, puede asociarse el surgimiento de la mecánica como ciencia moderna a los estudios cinemáticos realizados por Galileo sobre la caída de los graves.

A.1 Partiendo de la experiencia y observaciones cotidianas, ¿qué puede decirse sobre el movimiento de caída de los cuerpos?

Comentarios A.1

Los alumnos suelen referirse a que se trata de un movimiento no uniforme, es decir acelerado, planteándose la cuestión de si la rapidez crece o no regularmente (o sea, si la aceleración es o no constante). Otro núcleo de discusión que aparece en los grupos de trabajo se refiere a la influencia de la masa. Muchos alumnos piensan que cuanto mayor sea ésta, antes llegará el cuerpo al suelo. Algunos incluso precisan que si la masa aumenta al doble el tiempo de caída (desde una cierta altura) se reduce justo a la mitad. Otros alumnos se manifiestan en desacuerdo con estas afirmaciones y se refieren al papel jugado por el rozamiento con el aire, en el cual influye mucho la forma del cuerpo, que puede hacer que éste siga trayectorias no rectilíneas y, a veces, muy complicadas, como por ejemplo cuando se suelta un folio. Algunos alumnos recordando lo visto en la enseñanza primaria, llegan a decir que, en ausencia de rozamiento con el aire, todos los objetos, sea cual sea su masa, llegan al suelo al mismo tiempo cuando se dejan caer desde la misma altura. Suele tratarse, sin embargo, de un aprendizaje memorístico que no implica realmente una adecuada comprensión del problema y no conviene que el profesor se decante, en ese momento, a su favor o en contra, sino que se recogerá como hipótesis a contrastar.

Se comprende la complejidad que supone estudiar el problema de una manera global y la necesidad de proceder a un análisis del mismo, evitando en lo posible que intervenga el rozamiento. El profesor puede recordar aquí que ésta fue la forma de pensar del propio Galileo y referirse también a la importancia de las simplificaciones cuando se procede a realizar una investigación. El problema queda, pues, precisado al «estudio cinemático de la caída de los cuerpos en ausencia de rozamiento», debiéndose entonces solucionar previamente el evidente papel jugado por la fricción con el aire. En estas condiciones y al final de toda la discusión, las hipótesis que suelen aparecer pueden reducirse esencialmente a dos:

- a) Se trata de un movimiento de rapidez creciente y, al parecer, uniformemente acelerado.
- b) La velocidad adquirida por un cuerpo depende de su masa, de

forma que los cuerpos más pesados tardan menos tiempo en caer, desde una cierta altura, que otros menos pesados.

A.2 Para contrastar las hipótesis anteriores, hemos visto la necesidad de eliminar el rozamiento con el aire o de hacerlo casi despreciable. Indicar una forma de lograr esto.

Comentarios A.2

Los alumnos sugieren, a menudo, la utilización de un tubo de vacío. Conviene, lógicamente, pedirles algo más simple. Se propone entonces el empleo de pequeños objetos esféricos compactos con el fin de que la resistencia del aire pueda considerarse despreciable y otros diseños igualmente ingeniosos como dejar caer un objeto plano verticalmente, etc...

A.3 Una vez establecida la forma de conseguir que la fricción con el aire sea despreciable, proceded de forma sencilla a comprobar la segunda hipótesis anterior.

Comentarios A.3

Los estudiantes no tienen problemas en utilizar objetos como gomas de borrar, canicas e, incluso, hojas de papel arrugadas formando bolas compactas, y comprueban como cuando se dejan caer desde la misma altura, los tiempos de caída son prácticamente los mismos. Lo cual parece indicar que, en efecto, la masa de los cuerpos no influye en la aceleración de caída si el rozamiento es despreciable.

A pesar de que la contrastación de la segunda hipótesis suele dar buen resultado, no es infrecuente que algunos alumnos afirmen, p.e., que «la goma ha caído un poco antes que el trocito de tiza». El profesor puede entonces valorar positivamente dicha afirmación y aprovecharla para puntualizar algunos aspectos claves:

En primer lugar, se trata de admitir que lo que sí parece demostrar la conclusión obtenida es la falsedad de la idea, sólidamente arraigada en muchos alumnos, de asignar la mitad de tiempo en la duración de caída a doble peso. Conviene que el profesor aquí, caso de no haberlo hecho antes, se refiera a las ideas aristotélicas respecto a la caída de graves y los argumentos opuestos empleados por Galileo en «Dos nuevas ciencias».

En segundo lugar, es fundamental evitar que los alumnos piensen que una hipótesis tan importante como ésta pueda quedar realmente contrastada con un simple experimento escolar. El profesor se referirá a la enorme evidencia empírica —obtenida mediante distintos diseños

mucho más precisos— que apoya la conclusión obtenida, así como a su coherencia y eficacia dentro de la mecánica. Es todo ello lo que verdaderamente nos permite afirmar que, en efecto, en ausencia de rozamiento la aceleración de caída de los cuerpos es independiente de su masa.

Finalmente, conviene utilizar la experiencia para insistir ante los alumnos acerca de los peligros de las generalizaciones acríticas y precipitadas basadas exclusivamente en el «sentido común». Esta metodología es la que habitualmente utilizan los alumnos y su cambio progresivo hacia otras más acordes con la metodología científica debe ser un objetivo básico en la enseñanza de las ciencias.

A continuación pasaremos a contrastar la hipótesis de que el movimiento de caída libre de los cuerpos se produce con aceleración constante, es decir: se trata de un movimiento uniformemente acelerado. Pero, dado que no podemos medir directamente la aceleración de caída para ver si es constante o no, es preciso derivar alguna consecuencia que sí se pueda contrastar.

A.4 Si la aceleración es constante, se deben de cumplir las ecuaciones del movimiento uniformemente acelerado. Considerar dichas ecuaciones e intentar derivar a partir de ellas alguna consecuencia que podamos contrastar experimentalmente, para ver si la caída libre de los cuerpos es un movimiento de aceleración constante.

Comentarios A.4

La propuesta mayoritaria de los alumnos (que ya han estudiado el m.u.a.) consiste en utilizar la ecuación $e = 1/2 a \cdot t^2$. El problema se reduce entonces a dejar caer los cuerpos sin velocidad inicial y medir posiciones y tiempos, para ver si se ajustan a la relación mencionada, que se puede poner en la forma: $h = k \cdot t^2$.

A.5 Proponer algún experimento de fácil realización en el laboratorio y que permita comprobar si la relación entre las alturas h desde las que se deja caer un cuerpo y los tiempos t que tarda en llegar al suelo es la establecida en la actividad anterior.

Comentarios A.5

Los estudiantes, de entrada, suelen proponer dejar caer una pequeña esfera desde distintas alturas y medir en cada caso el tiempo empleado en caer para ver si los valores obtenidos se ajustan a la relación prevista. Conviene entonces hacer notar que los tiempos de caída

son tan pequeños que no es posible realizar medidas precisas de los mismos (a no ser que se disponga de los medios técnicos adecuados), y que, por lo tanto, se hace necesario «debilitar» la caída sin alterar la naturaleza del movimiento, es decir, sin introducir rozamiento. Entre las sugerencias propuestas, aparece la de utilizar una polea, o bien un plano inclinado por el que dejar rodar la bola. El profesor debe resaltar, en este último caso, que se trata de un montaje semejante al que al parecer utilizara en su día el propio Galileo. Normalmente se obtienen unos buenos resultados empleando ciertos rieles de cortinas o también barras de aluminio con una ranura o canal por donde pueda ir la esfera. En cualquier caso, es necesario que no se combe y que tenga una longitud suficiente, a ser posible superior al metro y medio. También hay que procurar que sea lo más liso posible y darle una inclinación muy pequeña. Y, por supuesto, es preciso repetir cada medida varias veces, dada la dispersión de los resultados y trabajar con los valores medios.

A.6 Proceder a la realización del experimento diseñado.

Comentarios A.6

Durante esta etapa de manipulación en el laboratorio y pese a la elaboración precedente del diseño, suelen surgir pequeños problemas técnicos que deben ser resueltos. Por ejemplo: ¿Cómo soltar la esfera para no comunicarle velocidad inicial? Una forma que los alumnos sugieren es colocar una regla u otro pequeño objeto similar como tope delante de la esfera y retirarla de golpe hacia delante para iniciar el movimiento. O también: ¿Cómo medir con precisión el tiempo empleado en el recorrido? Respecto a esta cuestión, hemos de indicar que conviene que el alumno que retira el tope sea el mismo que maneje el cronómetro. Por otra parte, interesa colocar otro tope al final del plano de forma que el sonido del choque de la bola con él, sirva de señal para parar el cronómetro. También es preciso tener cuidado en la medida de la distancia recorrida por la bola, etc...

A.7 Proceder al tratamiento de los datos obtenidos y a su interpretación. A continuación, presentar un informe lo más detallado posible sobre el trabajo realizado donde se destaquen cada una de sus fases: planteamiento del problema, hipótesis emitidas, diseños, etc...

Comentarios A.7

Ésta es un tipo de actividad que conviene incluir tras cada práctica, ya que no sólo permite una visión de conjunto y una comprensión

de las distintas actividades que se suelen realizar en una investigación científica, sino que además habitúa a los estudiantes a archivar ordenadamente el trabajo que realizan y a practicar la expresión escrita, para la cual encuentran no pocas dificultades.

Debe advertirse que la idea espontánea de los alumnos sobre la influencia de la masa en la velocidad de caída no ha sido, en general, erradicada totalmente con esta práctica. Así, por ejemplo, nos hemos encontrado con muchos de ellos que piensan todavía que la masa no influye si no hay rozamiento, pero si se da la situación opuesta siguen pensando que el cuerpo de doble masa tardará en caer la mitad de tiempo. Del mismo modo, pueden seguir creyendo que eso es válido para el movimiento de caída, pero no para el de «subida». Por ello será necesario insistir en actividades posteriores sobre esta cuestión, especialmente en la resolución de problemas. También es fundamental revisar de nuevo este resultado una vez que se haya desarrollado la «síntesis newtoniana» viendo que también se llega a él como consecuencia de la Ley de la Gravitación Universal.

En cualquier caso, el profesor debe ser consciente de que la superación de las ideas espontáneas de los alumnos en Mecánica, no puede realizarse en un corto período mostrando los resultados de algunos experimentos, sino que es preciso que se disponga de un sistema de conocimientos coherente y global, que muestre la potencialidad de los conceptos introducidos para interpretar situaciones muy diversas. Así, por ejemplo, en el caso considerado, un factor que induce a los alumnos a pensar que los cuerpos doblemente pesados tardan en caer la mitad de tiempo es el preconcepto que lleva a los alumnos a asociar fuerza con velocidad («Si pesa el doble es atraído con el doble de fuerza luego llevará doble velocidad y, por lo tanto, llegará en la mitad de tiempo».) No es de extrañar que mientras no se asimile el concepto newtoniano de fuerza, a pesar de lo bien que haya podido realizarse la experiencia anterior, en cuanto se varíe un poco el contexto (por ejemplo, «subida» de un cuerpo en lugar de «caída»), algunos alumnos vuelvan a cometer el mismo error conceptual y digan que un cuerpo doble pesado que otro, cuando se lanza hacia arriba con la misma rapidez inicial, llegará justo a la mitad de la altura.

ANEXO B

UN EJEMPLO DE RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS COMO INVESTIGACIÓN

Vamos a transcribir, a continuación, para ejemplificar el modelo de resolución elaborado para problemas de lápiz y papel, el abordaje de una situación problemática, tal y como suele desarrollarse en una clase de enseñanza secundaria.

Consideremos el enunciado:

«¿Chocará el tren con el obstáculo?»

Se trata de la transformación de uno de los enunciados típicos para alumnos de 16 años que presenta el interés, —en la forma propuesta aquí—, de no explicitar inequívocamente, como es habitual, qué es lo que se pide. Ello exige, como veremos, un esfuerzo suplementario de reflexión y precisión por parte de los alumnos.

a) *Planteamiento cualitativo y formulación de hipótesis*

Las primeras consideraciones cualitativas en las que los alumnos coinciden sin dificultad, conducen a referirse a un tren que avanza con velocidad determinada y cuyo maquinista, a la vista de un obstáculo, frena para impedir el choque. Según que el problema sea abordado en un contexto cinemático o dinámico, los alumnos traducen el «frena» por «producir una aceleración» o por «aplicar una fuerza». El problema puede por supuesto resolverse en cualquiera de los dos niveles. Pero la auténtica dificultad y las discrepancias, aparecen

en cuanto se trata de precisar qué es lo que el problema pide. La pregunta «¿Chocará ...?» no puede traducirse automáticamente a la forma habitual de «calcular la distancia ...», o bien «obtener la fuerza ...», etc. Y se trata, sin embargo, de realizar dicha precisión u operativización, sin lo cual difícilmente se podrá seguir avanzando. En otras palabras, los alumnos han de plantearse —y es posible que el profesor necesite impulsarles a ello si por sí mismos no lo hacen—, la cuestión de qué se podría calcular que diera información sobre si el choque se produce o no. Ello conduce a distintos planteamientos que resumimos a continuación:

- Una primera forma de operativizar el problema, es plantearse la obtención de la distancia, d , que recorrerá el tren desde que empieza a frenar (con una fuerza que se considera constante a lo largo de la trayectoria) hasta que se para. Si esa distancia es igual o menor que D —distancia desde el obstáculo al punto donde se encontraba el tren cuando empezó a frenar—, no chocará.
- Otra forma de abordar el problema propuesta por los alumnos, consiste en pensar en términos de velocidad, es decir, calcular la velocidad, v^* , con que el tren llegará al obstáculo. Si esa velocidad es mayor que cero, el tren chocará.
- Son posibles, además, otras formulaciones del problema, que aparecen con menor frecuencia. Por ejemplo, podría calcularse la fuerza necesaria para que el tren se pare tras recorrer exactamente la distancia D . Si el valor de la fuerza de frenado que puede aplicarse es igual o superior a la obtenida, el choque se evitará.

Para algunos alumnos estos abordos pueden parecer distintos, puesto que se trata respectivamente de calcular una distancia, una velocidad y una fuerza. Sin embargo, es fácil comprender que ello no es así y que los resultados habrán de ser coincidentes. Precisamente la resolución por más de un procedimiento se convierte en una forma de contrastar la validez de los resultados. En lo que sigue, describiremos la resolución realizada según el segundo aborde, es decir, determinando la velocidad que tendrá el tren, al que se aplica una fuerza de frenado constante, cuando llega al obstáculo.

Los alumnos no encuentran dificultad para exponer a modo de hipótesis, que la velocidad, v^* , dependerá de la velocidad v_0 que llevaba el tren, de la fuerza de frenado, F , de la masa, m , del mismo, y de la distancia, D , que recorre el tren desde que empieza a frenar hasta que alcanza el obstáculo.

Algún alumno suele aludir al tiempo que tardará el tren en dete-

nerse, pero, más pronto o más tarde, surgen comentarios sobre la dependencia de este tiempo de los mismos factores considerados. A este respecto, es necesario advertir a los alumnos sobre la conveniencia de permitir la formulación de cualquier hipótesis sin pasar a criticarlas de entrada, con objeto de evitar efectos inhibitorios. Una vez formuladas todas las hipótesis, es cuando conviene pasar a su discusión y profundización. Así, los alumnos expresan que v^* será tanto mayor cuanto más grande sea v_0 , y que disminuirá su valor si aumenta el de la fuerza de frenado o/y el de la distancia recorrida hasta alcanzar el obstáculo.

Cuando se separan las variables F y m (no utilizando como variable la aceleración), la dependencia de la velocidad con la masa no aparece siempre clara: algunos alumnos afirman que cuanto mayor sea m el tren disminuirá más rápidamente su velocidad. Esto pone en evidencia una concepción errónea que considera la masa como propiedad que mide «la resistencia» del cuerpo al movimiento, que mediante un razonamiento irreflexivo se convierte en: mayor masa, «más resistencia», luego se parará antes. Otros alumnos, por supuesto, argumentan lo contrario: a mayor masa, con más velocidad llegará, pues la aceleración de frenado será menor. A pesar de que el argumento es concluyente, con objeto de incidir sobre la concepción errónea citada, se puede dejar en alto esta cuestión y clarificarla a la luz de los resultados obtenidos.

Aún debe irse más allá en la profundización cualitativa e intuitiva de la situación, solicitando a los alumnos que imaginen situaciones límite donde sea posible avanzar el resultado. Los alumnos se refieren así, a que si el tren no frena ($F = 0$), entonces la velocidad no variará: $v^* = v_0$; lo mismo ocurriría si el conductor no advirtiese el obstáculo hasta encontrarse junto a él, es decir, si $D = 0$, será $v^* = v_0$. Suelen indicar, del mismo modo, que si la fuerza de frenado es «infinita», la velocidad con que llegará el tren al obstáculo será nula. Esta última intervención abre un debate en el que se clarifica que no es necesario que la fuerza tienda a infinito para que la velocidad, v^* , sea cero. Por el contrario, queda claro que existe un valor finito de F que hará que v^* sea cero, es decir, que el tren se pare justo al llegar al obstáculo. Si F supera dicho valor, el tren simplemente se parará antes, o lo que es lo mismo, no tendrá sentido preguntar el valor de v al llegar al obstáculo.

Queremos insistir, por una parte, en el hecho de que son las hipótesis, a la luz de la visión cualitativa del problema, las que determinan lo que debe de considerarse «datos» necesarios para su resolución (en este caso, v_0 , F , m y D) en contra del error empirista —favorecido por el tipo habitual de enunciado—, consistente en tomar los datos como punto de partida. Por otra parte, esta formulación de

hipótesis ha de entenderse como algo más que la simple enumeración de factores: la consideración de posibles casos límite obliga precisamente a profundizar más en dichas hipótesis, ayudando a predecir resultados concretos, con claro significado físico, que facilitarán después el análisis de resultados.

En definitiva, pues, el planteamiento cualitativo inicial, la formulación fundamentada de hipótesis y el avance de casos límites como profundización en las mismas, permiten así un abordaje de los problemas como tentativas que ponen en juego las estructuras conceptuales y la imaginación creativa de los alumnos, convirtiendo el resto del problema en un proceso para verificar si el planteamiento inicial o las hipótesis concebidas eran o no adecuadas.

Es ahora el momento de proponer posibles estrategias de resolución.

b) *Estrategias de resolución y resolución propiamente dicha*

Las estrategias concebidas por los alumnos dependen obviamente del cuerpo de conocimientos de que disponen. Una primera estrategia propuesta consiste en el tratamiento cinemático/dinámico del movimiento del tren, suponiendo un movimiento uniformemente acelerado. Si los alumnos han estudiado ya las relaciones trabajo/energía, proponen también considerar la variación de energía cinética que provoca el trabajo de frenado. No vamos aquí a transcribir más detalladamente las estrategias propuestas y los procesos de resolución que se derivan, y que conducen al resultado: $v^* = \sqrt{v_0^2 - 2FD/m}$. Pero si insistiremos en que esta búsqueda de estrategias representa para los alumnos un proceso complejo para el que no disponen de «reglas infalibles», —como algunos intentos de algoritmización pretenden—, si bien puede resultar muy útil el análisis en partes diferenciadas, el establecimiento de analogías con situaciones ya tratadas, el estudio previo de casos más simples, etc. En general, se trata de una tarea en la que, por su propia naturaleza, no quedan excluidas, claro está, las rectificaciones o el replanteamiento global, que las aleja de la simple «aplicación de conocimientos». Es precisamente este carácter de enigma, como decíamos más arriba, el que es olvidado en la didáctica habitual de los problemas, en la que las estrategias suelen aparecer como algo seguro de antemano, como frutos de una intuición inmediata sólo al alcance del profesor. Por el contrario, con el modelo propuesto los alumnos son conscientes, —y lo aceptan como algo natural—, de que las situaciones de incertidumbre son inherentes al abordaje de problemas, es decir, a los procesos de investigación.

c) *Análisis de resultados*

El paralelismo establecido entre resolución de un problema y proceso de investigación permite comprender la importancia que ha de concederse —en contra de la práctica habitual— al análisis de los resultados. En efecto, dicho análisis ha de jugar el papel de contrastación de las hipótesis emitidas, permitiendo averiguar hasta qué punto la visión cualitativa de la situación (origen de todo el desarrollo) era correcta y/o la estrategia adecuada, etc.

En primer lugar, los alumnos se refieren a la obtención del mismo resultado con los dos procedimientos de obtención utilizados. Por otra parte, señalan que, tal como avanzaban en sus hipótesis, la velocidad con que el tren llega al obstáculo depende de la velocidad inicial, aumentando o disminuyendo si esta lo hace; que cuanto mayor sea la fuerza de frenado o/y la distancia a la que se encuentra inicialmente el tren del obstáculo, D , menor será la velocidad v^* , etc.

Con respecto a la masa, la expresión obtenida indica que la velocidad final será mayor al aumentar la misma, lo que contradice conjeturas iniciales que son de nuevo discutidas, contribuyendo a una clarificación/profundización de los conocimientos. Los alumnos pueden también verificar los casos límites avanzados; así p.e. si $F = 0$, es decir, si el tren no frena, $v^* = v_0$.

De manera que el resultado obtenido para v^* parece lógico y puede ser aceptado como correcto por los alumnos (que pueden además comprobar su homogeneidad dimensional).

La respuesta a la pregunta planteada por el problema, se obtiene concluyendo que si $v^* > 0$, el tren chocará con el obstáculo. Es decir, si $(v_0^2 - 2FD/m) > 0$, el tren chocará, y si $v_0^2 - 2FD/m = 0$ ($v^* = 0$), se detendrá justo al llegar al obstáculo.

A partir de esta expresión es posible obtener distintas interpretaciones coincidentes. Por ejemplo, chocará si la fuerza de frenado no alcanza un determinado valor, concretamente, si $F < mv_0^2/2D$. De otro modo, el tren no podrá evitar chocar con el obstáculo si la distancia a la que empieza a frenar es menor que un valor determinado: $D < mv_0^2/2F$.

Los problemas así planteados suministran además la ocasión de conectar con problemas reales de interés práctico. Así, es fácil extrapolar a una situación de tráfico «real», y subrayar que el resultado obtenido $v^* = \sqrt{v_0^2 - 2FD/m}$, pone de manifiesto la gran influencia de la velocidad inicial (que está al cuadrado) y de la masa (excepto cuando se «patina» en que, al ser $F = mg$, no influye) en conseguir «parar a tiempo».

Puede hablarse pues, de la importancia de la moderación de la velocidad en ciudades y carreteras: necesidad de frenar a tiempo en los

semáforos, distancia de seguridad entre los vehículos, limitación de velocidad (particularmente para los transportes pesados), etc.

Por supuesto, alcanzado este punto, los alumnos pueden solicitar al profesor los datos que precisen para obtener un valor numérico. En ocasiones es conveniente que ellos mismos se imaginen dichos datos, con objeto de que se habituen al manejo de valores plausibles.

ANEXO C

EJEMPLOS DE CONCEPCIONES ALTERNATIVAS

Presentamos, a continuación, algunas cuestiones utilizadas por distintos autores para detectar la existencia de preconcepciones en el campo de las ciencias físico-químicas.

En cada una de ellas se especifica la referencia (una de las publicaciones en donde puede localizarse), el campo (es decir, el área o dominio científico al cual se refiere y concepto principal con el que se relaciona la cuestión), los objetivos y comentarios (en qué consiste la idea alternativa a estudiar, qué expectativas se tienen, etc.) y los resultados (que en general se centran en los porcentajes de respuestas erróneas obtenidos al pasar la cuestión, explicaciones que en su caso acompañan las respuestas, etc.).

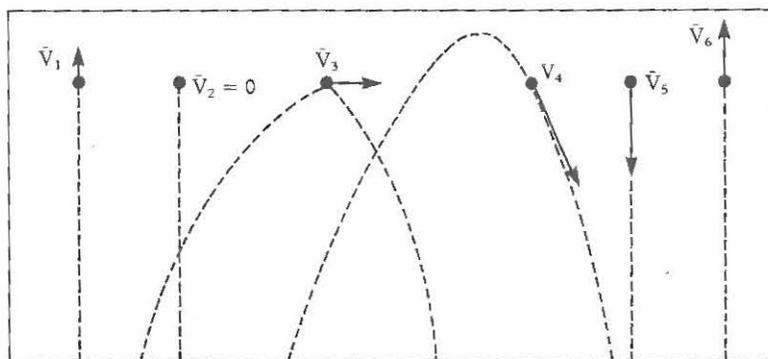
Como puede verse, muchas de estas cuestiones han sido utilizadas fundamentalmente con alumnos de educación secundaria: ciclo superior de la Educación General Básica (EGB), Bachillerato Unificado Polivalente (BUP) y Curso de Orientación Universitaria (COU); pero algunas han sido pasadas también a alumnos universitarios —concretamente de 2.º curso de Químicas (2.º QUIMI)—, profesores en formación de Escuela de Magisterio (MAGIS) y de los Cursos de Aptitud Pedagógica (CAP), así como a profesores de Enseñanza Media en activo (Prof. E.M.).

Comenzaremos por algunas relativas al concepto de fuerza, que ha sido uno de los más tratados en el tema de las preconcepciones, para seguir después con algunos otros aspectos. Para una mayor in-

formación puede recurrirse a la bibliografía citada en el capítulo tercero.

1. ASOCIACIÓN FUERZA MOVIMIENTO

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 en ese instante.) ¿Las fuerzas que actúan sobre las bolas en el instante indicado, son iguales o diferentes? Justificar la respuesta.



Referencia: Viennot, 1979.

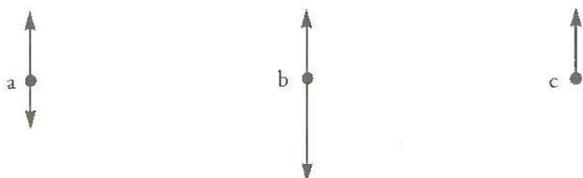
Objetivos y comentarios: La preconcepción que sostienen muchos alumnos sobre la idea de fuerza, que les lleva a relacionar ésta con la velocidad y no con la aceleración, hace que contesten diciendo que las fuerzas serían diferentes en cada caso, dependiendo en general del valor y sentido que tenga el vector velocidad.

Resultados: La cuestión fue pasada a 311 alumnos en total (29 del último año de escuela secundaria y el resto universitarios de diferentes países), 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.

Una cuestión similar es la que se expone a continuación:

Se lanza un cuerpo desde el suelo verticalmente hacia arriba. Considerando nulo el rozamiento, señala con una cruz cuál de los

siguientes esquemas representa correctamente las fuerzas que actúan sobre dicho cuerpo poco antes de que éste alcance su máxima altura

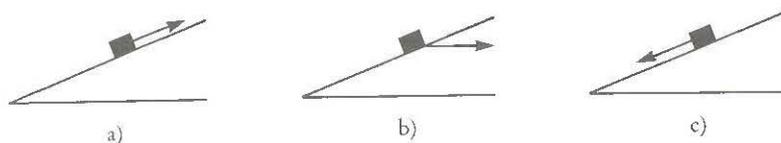


Referencia: Carrascosa, Fernández, Gil y Orozco, 1991.

Resultados:

Grupo encuestado	N	Porcentajes de error
7.º E.G.B.	134	73
1.º B.U.P.	264	84
2.º B.U.P.	250	90
3.º B.U.P.	208	85
C.O.U.	241	86
1.º MAGIS	65	86
2.º QUÍMI.	92	80

Un cuerpo es lanzado hacia arriba por un plano inclinado. Indicar cuál de los tres esquemas representa correctamente la fuerza resultante que actúa sobre el mismo mientras asciende:



Referencia: Carrascosa y Gil, 1982.

Objetivos y comentarios: La idea preconcebida que poseen los alumnos respecto al concepto de fuerza, les lleva a asociar a ésta con la velocidad. Así, en los movimientos «violentos» explican estos por medio de la fuerza «comunicada en el lanzamiento» la cual es la responsable de dicho movimiento, aunque «se va gastando poco a poco» hasta que finalmente el objeto se para. Esta idea lleva a muchos estu-

diantes a señalar como esquema correcto el a) ya que no conciben que un objeto pueda estar moviéndose en sentido contrario a la fuerza resultante sobre el mismo. No obstante, otros alumnos, principalmente los de niveles superiores, afirman que el esquema correcto es el b) argumentando que la fuerza que se le dio al cuerpo al lanzarlo, ha de componerse con el peso y de ahí que dé esa resultante.

Resultados:

<i>Grupo encuestado</i>	<i>N</i>	<i>Porcentajes de error</i>
2.º B.U.P.	196	70
3.º B.U.P.	213	61
C.O.U.	181	54
1.º MAGIS.	145	71
2.º QUÍMI.	140	68

Señalar verdadero o falso a continuación 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 en ese mismo instante también lo será.

Referencia: Carrascosa y Gil, 1985.

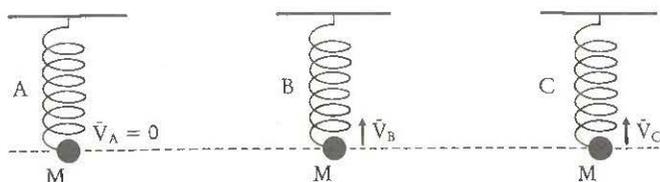
Objetivos y comentarios: La asociación fuerza/movimiento lleva a que los alumnos implícitamente manejen una ecuación como $f = v \cdot v$ en lugar de $f = v \cdot a$. Ello es perfectamente coherente con que piensen que si f es cero v también ha de serlo, o que la fuerza y la velocidad siempre han de tener el mismo sentido o finalmente que si v es cero la fuerza también ha de serlo.

Resultados:

<i>Grupo encuestado</i>	<i>N</i>	<i>Porcentajes de error</i>
2.º B.U.P.	447	97
3.º B.U.P.	213	98
C.O.U.	510	89
C.A.P.	136	80
1.º MAGIS.	145	81
2.º QUÍMI.	140	73
Prof. EM.	195	67

Es preciso indicar que los resultados anteriores se obtuvieron considerando que la cuestión estaba mal contestada cuando se respondía incorrectamente al menos una de las tres proposiciones.

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 $\bar{V}_A = 0$, las del B y C se encuentran a la misma altura pero todavía subiendo, con distintas velocidades \bar{V}_B y \bar{V}_C , tal y como se muestra en la figura adjunta.



Posición de equilibrio -----

Razonar si la fuerza total que actúa sobre M será la misma o distinta en los tres muelles.

Referencia: Viennot L, 1979.

Objetivos y comentarios: Las respuestas correctas a esta cuestión señalando la igualdad de las fuerzas (que en este caso sólo dependen de la posición), no son nada evidentes para muchos alumnos, que piensan que las fuerzas han de ser diferentes puesto que las velocidades también lo son.

Resultados: La cuestión fue ensayada por Viennot con estudiantes de escuela secundaria y universitarios de varios países, de los cuales aproximadamente un 50% contestaban erróneamente afirmando que las fuerzas eran diferentes. Los razonamientos más comunes eran del tipo: «Las fuerzas son diferentes porque las velocidades lo son.» «Las fuerzas son diferentes. Para el primer resorte $V = 0$ por lo que $F = 0$ », etc.

Por nuestra parte, hemos utilizado una cuestión similar aunque con resultados bastante diferentes. La cuestión es la siguiente:

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



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

- a) Cada vez con más fuerza.
- b) Cada vez con menos fuerza.
- c) Siempre con la misma fuerza.

Referencia: Carrascosa, Gil, Fernández y Orozco, 1991.

Objetivos y comentarios: La idea de fuerza como causa del movimiento es quizás una de las preconcepciones más sólidas y persistentes. Según ésta, resulta muy difícil aceptar que un objeto que se mueve cada vez más despacio pueda ejercer cada vez más fuerza. Para muchos alumnos el objeto, que al principio se mueve con la máxima velocidad debe hacer más fuerza sobre el muelle nada más chocar que conforme se va parando y en el momento en que se para no podría hacer ninguna. Sin embargo, la realidad, como sabemos, es justamente la contraria, el objeto hace cada vez más fuerza sobre el muelle mientras lo comprime y dicha fuerza alcanza su valor máximo en el preciso instante en que el objeto se para.

Resultados:

Grupo encuestado	N	Porcentajes de error
7.º E.G.B.	110	82
2.º B.U.P.	72	90
3.º B.U.P.	62	96
C.O.U.	62	93
2.º QUÍMI.	62	87

Como puede comprobarse los porcentajes de error de la cuestión anterior son muy altos en todos los niveles. Sin embargo, lo verdaderamente significativo es que en todos los cursos (incluido 7º de EGB) los alumnos contestaban sin dudar apenas y el número de respuestas en blanco fue siempre prácticamente nulo. Otro aspecto im-

portante a resaltar es que la seguridad en las respuestas erróneas, en lugar de disminuir, aumentaba conforme se progresaba de nivel educativo.

2. PRINCIPIO DE ACCIÓN-REACCIÓN

Otro aspecto en donde también se dan muchas preconcepciones es en el tercer principio de la dinámica. La siguiente cuestión constituye un buen ejemplo de ello:

En la figura 1 se observa un soporte del que por medio de un hilo cuelga un trozo de hierro. A su lado se encuentra una balanza en cuyo platillo hemos dispuesto un recipiente con agua. Si se introduce el trozo de hierro con mucho cuidado dentro del agua (sin derramar nada) de forma que nos quede tal y como muestra la figura 2, observaremos que:

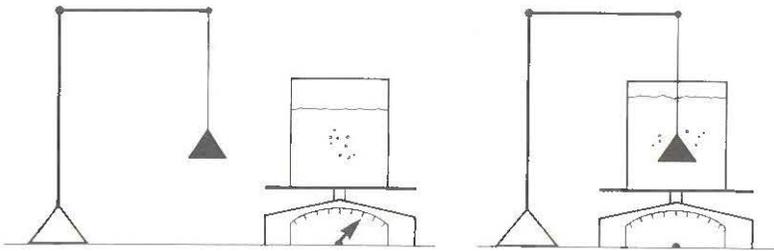


Figura 1

Figura 2

- La balanza señala más peso que antes.
- La balanza señala el mismo peso que antes.
- La balanza señala menos peso que antes.

Referencia: Kaminski y Viennot, 1989.

Objetivos y comentarios: Aunque tras estudiar el principio de Arquímedes la mayoría de los alumnos aceptan que el cuerpo sumergido «aparentemente pesa menos debido al empuje», no tienen en cuenta que ese empuje del líquido sobre el cuerpo lleva asociada una fuerza hacia abajo igual y de sentido contrario, que en la situación descrita va a hacer que la aguja se desvíe indicando un aumento de la fuerza ejercida sobre el plato.

Resultados: No disponemos de resultados de esta cuestión con alumnos, pero cuando fue utilizada por las autoras en un seminario para profesores en Santiago de Compostela, la mayor parte de los profesores de ciencias en activo asistentes al mismo, contestaron afirmando que la aguja no se movería.

3. CAÍDA DE GRAVES

Se deja caer un cuerpo desde una cierta altura y tarda un segundo en llegar al suelo. ¿Cuánto tardará otro de doble masa que se deja caer desde la misma altura? Añadir los comentarios que se consideren oportunos para justificar la respuesta.

Referencia: Carrascosa y Gil (1982).

Objetivos y comentarios: Indudablemente las respuestas aceptables para esta cuestión pueden ser varias, desde «el mismo tiempo» o más precisamente «el mismo tiempo si caen en el vacío» o «igual tiempo en ausencia de rozamiento», hasta «casi el mismo tiempo» o «distinto tiempo, dependiendo del rozamiento», etc. En cualquier caso, lo que se trata de averiguar es cuántos alumnos afirman escuetamente «medio segundo» o dan respuestas similares, lo que contribuiría a evidenciar la existencia de una idea según la cual la duración de la caída de los cuerpos guarda una proporcionalidad inversa con su peso.

Resultados:

<i>Grupo encuestado</i>	<i>N</i>	<i>Porcentajes de error</i>
2.º B.U.P.	196	73
3.º B.U.P.	213	70
C.O.U.	181	54
1.º MAGIS.	145	66
2.º QUÍMI.	140	39

Una cuestión utilizada para detectar esta misma preconcepción de una forma más indirecta ha sido:

Se lanza verticalmente un objeto hacia arriba con una velocidad dada, alcanzando una altura de 6 m. ¿Qué altura alcanzará otro objeto lanzado con la misma velocidad, si su masa es la mitad que la del primero?

Referencia: Carrascosa y Gil (1982).

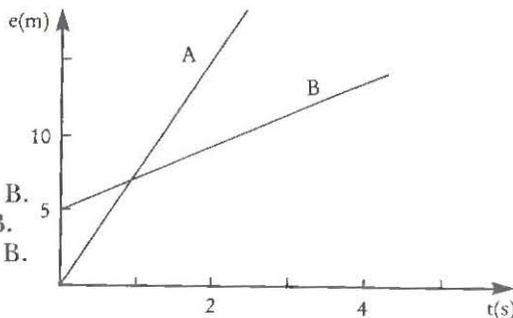
Resultados: Los resultados obtenidos son aún más negativos que en la cuestión anterior, precisamente por el carácter indirecto de la cuestión que evita que los alumnos reconozcan aquello que el profesor ha podido explicar sobre «caída» de graves. La cuestión ha sido ensayada en numerosas ocasiones. A continuación, se exponen los resultados globales obtenidos:

Grupo encuestado	N	Porcentajes de error
7.º E.G.B.	134	85
1.º B.U.P.	264	88
2.º B.U.P.	196	78
3.º B.U.P.	421	73
C.O.U.	422	61
1.º MAGIS.	210	68
2.º QUÍMI.	232	44

4. CONCEPTO DE RAPIDEZ

En la figura adjunta se representa la gráfica de la posición frente al tiempo, de dos vehículos A y B.

En el instante $t = 2$ s, puede afirmarse que la rapidez con que se mueve el A será:



- a) Menor que la del B.
- b) Igual que la del B.
- c) Mayor que la del B.

¿Tienen ambos vehículos la misma rapidez en algún instante determinado? En caso afirmativo especificar y explicar la respuesta.

Referencia: McDermott et al, 1987.

Objetivos y comentarios: Para contestar correctamente la cuestión, es necesario reconocer que las pendientes de ambas líneas representan la rapidez respectiva de cada móvil y que en el caso considerado serán ambas constantes. Sin embargo, muchos estudiantes fallan en sus respuestas. Así, en la primera parte suele darse la idea consistente en relacionar la rapidez no con la pendiente sino con la altura, y dado que en el instante $t = 2$ s, la línea de A está por encima de la de B, esto llevará a señalar como correcta la opción c). El mismo tipo de razonamiento conduce a afirmar que ambos móviles tienen la misma rapidez en el instante $t = 1$ s.

5. COMPOSICIÓN DE MOVIMIENTOS

Por supuesto, las preconcepciones pueden detectarse también mediante otros instrumentos como pueden ser las entrevistas clínicas, la elaboración de mapas conceptuales, las simulaciones con ordenador, las actividades en las que el alumno ha de emitir hipótesis, etc. Un estudio especialmente interesante es el realizado por McCloskey (1983), explorando los «conocimientos en acción» de estudiantes universitarios y no universitarios (citado por Driver 1986):

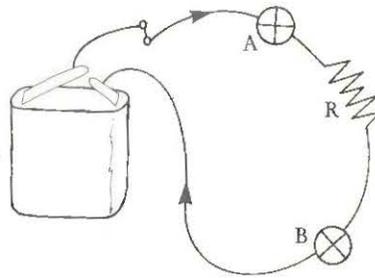
Se trata de pedir a los estudiantes que suelten, mientras avanzan, una pelota que llevan en la mano, de forma que la bola dé en un blanco situado en el suelo.

Los resultados obtenidos anotando el número de estudiantes que sueltan la pelota antes de llegar al blanco, encima del mismo, o después de pasarlo, indican que la mayoría de ellos la soltaban justo al pasar sobre el blanco, lo que sugiere que no tomaban en consideración la componente horizontal del movimiento de la pelota, o que asumían implícitamente se anulaba tan pronto soltaban la pelota.

6. INTENSIDAD DE CORRIENTE ELÉCTRICA

En el circuito de la figura adjunta se tiene una pila o generador, dos bombillas A y B iguales y una resistencia R que se ha colocado entre ambas bombillas. Cuando se conecta el interruptor se observa que se encienden las dos bombillas, de manera que:

- (a) La B brillará algo más que la A.
- (b) La B brillará igual que la A.
- (c) La B brillará algo menos que la A.



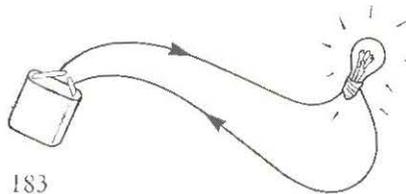
Referencia: Shipstone, D. 1984.

Objetivos y comentarios: El pensar que la corriente que sale del generador se va gastando conforme recorre el circuito de forma que al generador regresa una corriente menos intensa de la que sale, hace que en este caso se conteste afirmando que la bombilla B lucirá menos que la A, ya que una parte de la corriente se pierde al atravesar la resistencia R y otra se gasta en las bombillas. La cuestión se puede variar preguntando a los alumnos qué pasaría con el brillo de las bombillas si manteniendo el mismo generador, se aumentase el valor de R. Algunos siguen lo que ha venido en denominarse un «razonamiento secuencial», y piensan que a la bombilla A no le ocurriría nada ya que se encuentra antes de la resistencia y por lo tanto no se «entera» del aumento de ésta, en cambio la bombilla B sí que sufriría una disminución en su brillo.

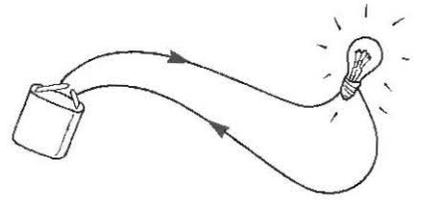
La siguiente cuestión, también sobre el concepto de intensidad de corriente, ha sido utilizada por nosotros en diversas ocasiones (Carrascosa, Fernández, Gil y Orozco, 1991), encontrándonos con ideas y razonamientos similares.

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

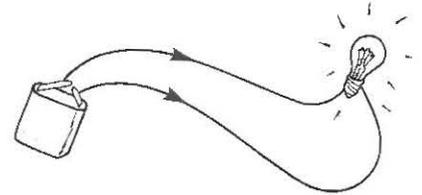
- (a) La corriente sale de un polo de la pila y se consume en la bombilla.
- (b) Sale la corriente de un polo, pasa por la bombilla, y regresa menos corriente a la pila, entrando por el otro polo.
- (c) La misma corriente que



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.



Resultados:

Grupo encuestado	N	Porcentajes de error
7.º E.G.B.	134	83
1.º B.U.P.	265	84
3.º B.U.P.	212	66
C.O.U.	239	67
1.º MAGIS.	64	59
2.º QUÍMI.	92	30

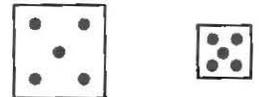
7. ESTRUCTURA CORPUSCULAR DE LA MATERIA

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

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



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



c) Al presionar, las propias partículas se comprimen, reduciendo se su tamaño.



Referencia: Furió y Hernández, 1983.

Objetivos y comentarios: Algunos alumnos atribuyen a las partículas

(átomos y moléculas) de que está compuesta la materia, propiedades macroscópicas, de forma que explican transformaciones como la fusión, disolución, etc., de sustancias, como si éstas tuvieran lugar en las propias partículas.

Resultados: La cuestión ha sido ensayada en distintas situaciones. A continuación, sintetizamos los resultados obtenidos.

<i>Grupo encuestado</i>	<i>N</i>	<i>Porcentajes de error</i>
5.º E.G.B.	36	70
6.º E.G.B.	34	68
7.º E.G.B.	134	60
1.º B.U.P.	264	46
3.º B.U.P.	208	25
C.O.U.	241	18
2.º QUÍMI.	92	2

Otra cuestión similar, que hemos tenido ocasión de experimentar, es la siguiente:

Experimentalmente se observa que al calentar mucho el hierro, se pone al rojo vivo y finalmente se funde. Este fenómeno se produce porqué:

- a) Los átomos de hierro se alejan entre sí debilitándose los enlaces que los unen, rompiéndose muchos de ellos, etc.
- b) Los átomos de hierro inicialmente duros, se van haciendo cada vez más blandos conforme van aumentando la temperatura.

Referencia: Carrascosa, Gil, Fernández y Orozco, 1991.

Resultados:

<i>Grupo encuestado</i>	<i>N</i>	<i>Porcentajes de error</i>
2.º B.U.P.	172	73
C.O.U.	64	69
C.A.P.	25	56
7.º E.G.B.	110	33

8. CONCENTRACIÓN Y CANTIDAD DE SUSTANCIA

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

- Aumentar la presión.
- Extraer amoníaco del recipiente.
- La pregunta es absurda.
- Disminuir la presión.

Referencia: Furió y Ortiz, 1983.

Objetivos y comentarios: Se trata de una cuestión para poner de manifiesto la confusión existente entre cantidad de sustancia y concentración. También sirve sobre todo, para mostrar 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 que se insiste tres veces).

Resultados:

Grupo encuestado	N	Porcentajes de error
C.O.U.	61	70
C.A.P.	55	72

9. CONCEPTO DE ÓRBITA

Según el modelo atómico de Bohr, cuando un átomo de hidrógeno pierde su electrón, el ión H^+ que queda, consiste en:

- Únicamente el núcleo del átomo de hidrógeno.
- El núcleo del átomo y una sola órbita vacía.
- El núcleo del átomo y varias órbitas vacías.

Referencia: Carrascosa, 1987.

Objetivos y comentarios: Con esta cuestión se trata de mostrar la idea de que las órbitas de los átomos tienen existencia real independiente de los electrones. Dicha idea consiste en una concepción alternativa de origen fundamentalmente intraescolar, que no cabe atribuir a las experiencias cotidianas de los alumnos.

Resultados:

<i>Grupo encuestado</i>	<i>N</i>	<i>Porcentajes de error</i>
2.º B.U.P.	172	73
C.O.U.	64	69
C.A.P.	25	56

ANEXO D

BLOQUES TEMÁTICOS DEL DISEÑO CURRICULAR BASE

Reproducimos aquí los enunciados de los bloques temáticos del Diseño Curricular Base (M.E.C. 1989), para la enseñanza de las ciencias en la educación secundaria obligatoria:

1. Diversidad y unidad de la materia.
2. La estructura de las sustancias.
3. La energía.
4. Los cambios químicos.
5. La Tierra en el Universo.
6. El aire y el agua.
7. Las rocas.
8. Los seres vivos: diversidad y unidad.
9. La mujer y el hombre, seres vivos.
10. Interacciones de los componentes abióticos y bióticos del medio natural.
11. Los cambios en el medio natural. Los seres humanos, principales agentes de cambio.
12. La salud como manifestación del equilibrio del sistema humano.
13. Las fuerzas y los movimientos.
14. Electricidad y magnetismo.
15. Las ondas en la Naturaleza.

ANEXO E

EJEMPLO DE PROGRAMA-GUÍA DE ACTIVIDADES: TRABAJO Y ENERGÍA

El estudio del movimiento realizado hasta aquí lo hemos basado en el uso combinado de las ecuaciones de la dinámica —que conducen al cálculo de las aceleraciones— y de la cinemática, que permiten determinar posiciones y velocidades en función del tiempo. Pero ya el mismo Galileo se planteaba el problema de si existe alguna relación entre el desplazamiento experimentado por un cuerpo mientras sobre él actúa una fuerza y el cambio de velocidad que se produce. Esta búsqueda de relaciones directas entre fuerzas, desplazamientos, etc, condujo, a lo largo de un sinuoso proceso de más de 150 años, a la introducción de nuevas magnitudes físicas —en particular a los conceptos de TRABAJO y de ENERGÍA— y al establecimiento de relaciones que iban a mostrar una gran potencia explicativa y predictiva.

Desarrollaremos este tema de acuerdo con el siguiente índice:

ÍNDICE

1. Conceptos cualitativos de trabajo y energía.
 - 1.1. Idea cualitativa de trabajo.
 - 1.2. Idea cualitativa de energía.
 - 1.3. Formas de energía.
2. Definición operativa y manejo de la magnitud trabajo.

- 2.1. Definición operativa de trabajo.
- 2.2. Cálculo del trabajo en diferentes situaciones.
- 2.3. Medida de la eficacia en la realización de trabajo.
3. Profundización en el concepto de energía. Tratamiento cuantitativo.
 - 3.1. Profundización de las relaciones trabajo/energía.
 - 3.2. Energía cinética.
 - 3.3. Energía potencial gravitatoria.
4. Establecimiento del principio de conservación y transformación de la energía.
 - 4.1. Consideraciones cualitativas en favor y en contra del principio.
 - 4.2. Establecimiento experimental del principio.
5. Resolución de problemas (mostrando tanto la potencia del nuevo tratamiento como su coherencia con el cinemático/dinámico).
6. Actividades complementarias.

1. CONCEPTOS CUALITATIVOS DE TRABAJO Y ENERGÍA

1.1. IDEA CUALITATIVA DE TRABAJO

A.1. Considerar diversos ejemplos de lo que se entiende por trabajo en la vida corriente y establecer a partir de los mismos el concepto cualitativo de trabajo

Comentarios A.1

Digamos de entrada que esta actividad permite superar las habituales introducciones puramente operativas, carentes de significado físico que proporciona, precisamente, la discusión cualitativa.

Como en tantos otros casos, esta discusión permite conectar con las ideas que los alumnos ya tienen:

En la exposición de los distintos grupos aparecen las ideas de cambio (transformación,...) y de fuerza (esfuerzo,...). Tras la puesta en común la clase puede llegar así al concepto cualitativo de trabajo como «la transformación de la materia a través de las interacciones, es decir, por la acción de fuerzas» o cualquier expresión semejante que expresa con bastante propiedad una primera idea de trabajo (Maxwell 1952).

Pero sería didácticamente incorrecto pasar por alto la frecuente confusión entre trabajo y esfuerzo. Se trata de un error conceptual bastante generalizado (aunque «inconstante» es decir, que aparece o no según las situaciones) como se pondrá en evidencia, p.e., en la activi-

dad A.9. Conviene, pues, detenerse en ésta y otras posibles confusiones abordando los ejemplos propuestos por los alumnos. Así, la cuestión «¿Se trabaja cuando se está sosteniendo un objeto? exige una respuesta matizada. Parece evidente que el objeto (si es indeformable) no sufre transformaciones. Sin embargo, la impresión de estar realizando trabajo que los alumnos tienen no es errada: el propio sujeto que soporta al objeto experimenta transformaciones (su corazón va más aprisa, transpira...)

Por último, hay que insistir en que la comprensión del concepto no puede lograrse sin profundizar más en el mismo y sin tener en cuenta sus relaciones con el concepto asociado de energía, al que se refieren también los alumnos desde el primer momento. De hecho, existe una polémica (Sexl 1981; Duit 1981; Warren 1982) sobre la conveniencia de comenzar introduciendo el concepto de trabajo antes del de energía o viceversa. En nuestra opinión es preferible una introducción prácticamente simultánea como la que se propone en este programa guía. Consideramos conveniente, pues, introducir ahora el concepto cualitativo de energía antes de pasar al tratamiento cuantitativo de la magnitud trabajo.

1.2. IDEA CUALITATIVA DE ENERGÍA

A.2. Exponed las ideas cualitativas que poseáis sobre el concepto de energía.

A.3. Partiendo del concepto cualitativo de energía sugerir que relación cabe esperar entre el trabajo realizado por un sistema y la energía de que este dispone.

Comentarios A.2 y A.3

Hay que señalar que la idea de energía como «capacidad de un sistema para realizar trabajo» (o para transformar la materia, etc) surge sin dificultades aparentes.

La actividad A.3, por su parte, conduce a expresar la idea de que, al realizar trabajo, el sistema consume energía, experimenta una variación de energía. Por supuesto, esta idea (que puede concretarse en una hipotética relación entre el trabajo W y las variaciones de energía ΔE : $W = \Delta E$) es aún muy imprecisa y habrá de ser profundizada. Pero de entrada permite comprender mejor los ejemplos de realización de trabajo en situaciones de la vida práctica considerados en A.1. Así, puede entenderse más claramente por qué al sostener un objeto se realiza trabajo (asociado a una disminución de energía del sujeto).

Insistimos en que la supuesta relación $W = \Delta E$ es muy imprecisa,

pero conviene posponer la profundización hasta introducir y manejar la definición operativa de trabajo.

1.3. FORMAS DE ENERGÍA

A.4. Enumerar las distintas formas de energía que conozcáis.

A.4 (bis) Indicar, para cada una de las formas de energía consideradas, en qué está basada su capacidad de realizar trabajo, de transformar la materia.

Comentarios A.4 y A.4 (bis)

En la actividad A.4. los alumnos enumeran toda una serie de formas de energía, mezcla de denominaciones presentes en libros, prensa, etc. Resalta el desorden de esta enumeración, que la actividad A.4 (bis). debe contribuir a superar haciendo ver el carácter cinético de algunas denominaciones (energía eólica, ...) y el carácter potencial de las demás (¡no sólo la potencial gravitatoria!). En definitiva ha de quedar claro que, como se explica en Alonso-Finn (1971), toda energía de un sistema, o es cinética —asociada al movimiento relativo de unos objetos respecto a otros— o es potencial, es decir, «en potencia», asociada a las fuerzas del sistema (gravitatoria, electromagnética, nuclear) y avanzar que, por supuesto, no se debe hablar de energía térmica o calorífica, error conceptual muy frecuente todavía incluso en algunos textos y que es necesario deshacer en el capítulo siguiente. Conviene también dejar de utilizar la expresión «energía mecánica» (cinética más potencial gravitatoria); en efecto, la única energía mecánica sería la cinética (ver a este respecto, de nuevo, el Alonso-Finn).

2. DEFINICIÓN OPERATIVA Y MANEJO DE LA MAGNITUD TRABAJO

2.1. DEFINICIÓN OPERATIVA DE TRABAJO

A.5. Limitándonos al dominio de las transformaciones mecánicas que venimos estudiando, proponer una definición operativa de trabajo basada en el concepto cualitativo que acabamos de establecer.

Comentarios A.5

La definición operativa $W = F \cdot d$ que los alumnos proponen (y que conviene aceptar inicialmente, pese a sus indudables limitaciones) apa-

rece ahora como consecuencia del concepto cualitativo y así debe ser verbalizado por los alumnos, al menos en lo que se refiere a la inclusión de ambos factores (la fuerza F y el desplazamiento d). Pero la idea de una proporcionalidad directa de ambos factores es una simple hipótesis que debe ser profundizada, evitando así respuestas memorísticas (los alumnos conocen sin duda la definición operativa, aunque probablemente nunca la hayan razonado); esto es lo que se persigue con la actividad A.5 (bis).

A.5 (bis) Analizad las siguientes expresiones y razonad en qué medida pueden ser consideradas como definiciones operativas correctas de la magnitud trabajo:

a) $W = F/d$; b) $W = F + d$; c) $W = F \cdot d^2$; d) $W = F \cdot d$; e) $W = F \cdot t$

Comentarios A.5 (bis)

Esta actividad obliga a centrarse significativamente en la forma en que F y d influyen. Así, los alumnos rechazan fácilmente la definición a) (que supondría realizar más trabajo cuanto menor fuera el desplazamiento) y la b) (tanto por lo absurdo de sumar magnitudes no homogéneas como porque según dicha expresión podría haber trabajo en ausencia de fuerza o de desplazamiento). Mayor dificultad presenta la c), pero los alumnos llegan a ver que, según la misma, un labrador que trazara cuatro surcos habría trabajado 16 veces más que el que trazó un sólo surco, lo que no responde, al menos intuitivamente a lo que cabe suponer. Naturalmente, estas reflexiones cualitativas no «demuestran» la validez o falsedad de una definición, aunque ayuden a concretar las hipótesis. Este carácter de hipótesis de las definiciones operativas debe ser resaltado: las definiciones no son ni arbitrarias ni «descubrimiento» de algo presente en la naturaleza. Y, por supuesto, sólo la coherencia del cuerpo de conocimientos obtenido permitirá validarlas. Puede resultar interesante recordar aquí la definición clásica de fuerza ($F = k a$) que ha quedado verificada por todos los resultados de la dinámica, mientras la definición «de sentido común» ($F = k v$) conduce a resultados absurdos.

A.6. En numerosas ocasiones, la fuerza que actúa sobre un cuerpo no lleva la dirección del desplazamiento. Considerar algunos ejemplos en que ello ocurra y discutir si la definición operativa de trabajo introducida es válida en esos casos o debe ser modificada.

Comentarios A.6

Con esta actividad se trata de favorecer la generalización del concepto de trabajo. Hay que prestar particular atención a la confusión relativamente frecuente consistente en suponer que una fuerza «hace

más trabajo» si no lleva la dirección del desplazamiento. Una vez más aparece aquí la confusión entre trabajo y esfuerzo: hacer más trabajo se confunde con «necesidad de aplicar una fuerza mayor para conseguir el mismo efecto».

Conviene, además, utilizar distintas formas para expresar el trabajo (fundamentalmente en función de las fuerzas tangenciales F_t , o haciendo aparecer el coseno) lo que ayudará, sin duda, a profundizar en el significado del concepto de trabajo. Y puede ser conveniente contemplar las situaciones en que la fuerza varía (al menos para fijar el campo de validez de las expresiones introducidas).

A.7. A partir de la definición operativa de trabajo definir la unidad internacional de esta magnitud.

Comentarios A.7

Hay que insistir aquí en la necesidad de evitar definiciones del tipo «1 N x 1 m» carentes de todo significado. Al hacerlo, los alumnos llegan a proponer una definición más física como «trabajo que se realiza cuando una fuerza de 1 N actúa sobre un objeto que se desplaza 1 m».

A.7 (bis). Proponer ejemplos de trabajo dando una estimación de su valor en unidades internacionales.

Comentarios A.7 (bis)

Insistimos en que estas actividades de «materialización» son muy convenientes para familiarizar a los alumnos con estimaciones reales.

2.2. CÁLCULO DEL TRABAJO EN DIFERENTES SITUACIONES

Propondremos ahora algunos ejemplos de utilización de esta magnitud en diversas situaciones con objeto de facilitar su correcta comprensión y profundización.

A.8. Un niño arrastra un trineo mediante una cuerda que forma un ángulo de 60° con la horizontal. Si la tensión de la cuerda es de 50 N ¿qué trabajo realizará al desplazarlo 8 m?

A.9. Se ha de subir un tonel a un camión desde el suelo. Considerar cualitativamente cuando se realiza más trabajo: al elevar directamente el tonel o al utilizar un plano inclinado.

A.10. Calcular el trabajo realizado por la fuerza F (de 10 N) en cada

uno de los casos representados en la figura adjunta para un desplazamiento de 2 m. Realizad los comentarios pertinentes.



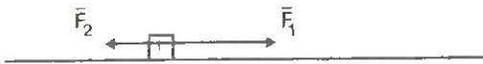
A.11. Realizar las consideraciones cualitativas pertinentes acerca del trabajo realizado durante el giro de la Luna alrededor de la Tierra

A.12. Se lanza un cuerpo de 2 Kg hacia arriba, sube 20 m y cae. Calcular el trabajo realizado por la fuerza peso: a) durante la subida; b) durante la bajada; c) en el trayecto total. Interpretar los resultados.

A.12 (bis). Un cuerpo se desplaza desde A a B (separados 3 m), sometido a una fuerza de fricción de 14 N y regresa después al punto de partida (sometido a la misma fricción). Calcular el trabajo realizado : a) en el trayecto de A a B ; b) en el trayecto de regreso; c) en el trayecto total. Interpretar los resultados.

Hasta aquí nos hemos planteado el cálculo del trabajo cuando está actuando una sólo fuerza. Veamos ahora dos ejemplos en que actúan más de una.

A.13. Dos fuerzas F_1 y F_2 (de 100 N y 40 N respectivamente) actúan sobre un cuerpo en la forma indicada en el gráfico adjunto. Calcular el trabajo realizado cuando el cuerpo se desplaza 20 m en la dirección de F_1 .



A.14. Se eleva 20 m un cuerpo de 15 Kg mediante una fuerza vertical igual a su peso (en un lugar donde $g = 9.8 \text{ N/Kg}$). Calcular: a) el trabajo realizado por la fuerza de la gravedad (fuerza conservativa del sistema cuerpo/Tierra) ; b) el trabajo realizado por la fuerza que tira del cuerpo hacia arriba (fuerza exterior del sistema) ; c) el trabajo resultante de las fuerzas que actúan sobre el cuerpo.

Comentarios apartado 2.2

La actividad A.8 es muy simple y los alumnos no tienen dificultad en realizarla (es, por supuesto, conveniente introducir algunas actividades sencillas que den seguridad y refuercen la idea de avance). Pero, pese a esta simplicidad, la actividad puede servir también para afian-

zar el manejo de la definición operativa de trabajo en las distintas formas introducidas.

En la actividad A.9 los alumnos responden habitualmente que se hace menos trabajo subiendo el tonel por el plano inclinado, con lo que se pone en evidencia la confusión trabajo/esfuerzo y se puede así insistir de nuevo en el concepto cualitativo de trabajo (¿Acaso la transformación lograda no ha sido la misma?) y en el error de considerar la variación de un único factor («menos fuerza menos trabajo») olvidando el otro («mas desplazamiento...»)

La actividad A.10 produce algunas discusiones interesantes en torno a cuestiones como «¿Tiene sentido un trabajo negativo?» o «¿Como puede ir el cuerpo hacia delante si la fuerza actúa hacia atrás?» que revelan el peso de los preconceptos.

La consideración cualitativa de lo que ocurre con la energía (que el profesor puede solicitar si no surge espontáneamente) puede ayudar a entender el resultado. De este modo, los alumnos comprenden que en el caso b) el trabajo sea nulo, no sólo por razones operativas (al ser $F_t = 0$), sino por considerar que el objeto no se acelera y por tanto no hay variación de energía. Más aún, pueden asociar el resultado negativo del trabajo en c) con la disminución de energía que implica.

La actividad A.11 está introducida para, una vez más, afianzar la relación cualitativa entre trabajo y energía (que por supuesto no varía durante el giro de la Luna) y, al propio tiempo, insistir en que si las fuerzas son perpendiculares a la trayectoria no realizan trabajo.

Las actividades A.12 y A.12 (bis) permiten constatar las diferencias entre los resultados correspondientes a fuerzas como las gravitatorias y otras como las de fricción. La interpretación de los resultados (haciendo intervenir cualitativamente las variaciones de energía) permite la introducción de los conceptos de fuerzas «conservativas» y «dissipativas» y será útil más adelante para la comprensión de las relaciones trabajo/energía.

La actividad A.13 es resuelta por algunos grupos calculando el trabajo de cada fuerza y sumando algebraicamente el resultado, mientras otros calculan el trabajo de la fuerza resultante. La identidad de los resultados obtenidos permite insistir en el carácter escalar, algebraico de la magnitud trabajo.

La actividad A.14 permite introducir y diferenciar los conceptos de trabajo interior, W_{in} (trabajo de las fuerzas conservativas del sistema), trabajo exterior W_{ex} (trabajo de las fuerzas exteriores) y trabajo resultante W_{res} . Se trata de una distinción absolutamente necesaria, como se ve más adelante, para la correcta comprensión de las relaciones trabajo/energía.

2.3. MEDIDA DE LA EFICACIA EN LA REALIZACIÓN DE TRABAJO: CONCEPTO DE POTENCIA

En la vida cotidiana no interesa tanto el trabajo como la eficacia con que éste se realiza. Abordaremos esta cuestión en las siguientes actividades:

A.15. Proponer una definición operativa de una magnitud que mida la mayor o menor eficacia con que se realiza el trabajo.

A.16. Definir la unidad internacional de la nueva magnitud introducida.

A.17. Dar estimaciones aproximadas del valor de la potencia para algunos ejemplos reales (motor de ascensor, persona subiendo escalera, ...).

A.18. El KWh (Kilovatio-hora) es una unidad de trabajo muy utilizada. Dar una definición de la misma y calcular su equivalencia con el julio.

Comentarios al apartado 2.3

En la actividad A.15, aunque la mayor parte de los grupos parten de la idea de que, p.e., una máquina eficaz es la que realiza mucho trabajo en poco tiempo (lo que conduce directamente a introducir la relación $W/\Delta t$ como medida de la «eficacia»), algunos alumnos o el mismo profesor pueden hacer referencia a que se trata de un planteamiento puramente cuantitativo que deja de lado el aspecto «calidad».

3. PROFUNDIZACIÓN EN EL CONCEPTO DE ENERGÍA. TRATAMIENTO CUANTITATIVO

3.1. PROFUNDIZACIÓN EN LAS RELACIONES TRABAJO/ENERGÍA

En el apartado 1 se introdujo una idea cualitativa de energía como capacidad para realizar trabajo y se sugirió, a modo de conjetura aún muy imprecisa, una relación entre trabajo y variaciones de energía $W = \Delta E$.

A.19. Admitiendo que ΔE represente la variación de energía total de un sistema físico ¿qué significado habría que dar —siempre a título de hipótesis— a W en la relación $W = \Delta W$?

- a) el trabajo de las fuerzas exteriores al sistema
- b) el trabajo de las fuerzas interiores
- c) el trabajo de la fuerza resultante.

Razonad cualitativamente la respuesta a partir de algún ejemplo concreto (p.e., «se levanta un cuerpo tirando de él hacia arriba con una fuerza igual a su peso»).

Vamos ahora a intentar profundizar en las relaciones trabajo/energía, considerando las variaciones de energía potencial asociadas, como ya hemos visto, a la existencia de determinadas fuerzas en el interior de un sistema (gravitatorias, eléctricas,...).

A.20. Consideremos algunas situaciones como las siguientes:

- levantamos un objeto
- acercamos dos cuerpos cargados del mismo signo
- tensamos un arco
- ...

¿Como es la variación de energía potencial en cada uno de estos casos? ¿Y el trabajo de la fuerza interior del sistema?

¿Qué ocurre con la energía potencial, cuando dejamos el cuerpo, soltamos el arco, etc? ¿Cómo es ahora el trabajo de las fuerzas del sistema?

Partiendo de estos ejemplos establecer, a modo de hipótesis, la relación entre el trabajo realizado por la fuerza interior conservativa y la variación de la energía potencial asociada al sistema.

A.21. Considerar, a la luz de la hipótesis introducida en A.20, cual sería la variación de la energía potencial en las tres situaciones a, b y c de la actividad A.12.

A.22 Recordar qué fuerza hay que considerar para determinar los cambios de movimiento de un cuerpo. Según ello ¿qué trabajo (interior, exterior o resultante) habrá de relacionarse con las variaciones de la energía cinética? Expresad dicha relación a modo de hipótesis.

A.23. Considerar, a la luz de la hipótesis introducida en A.21, cual sería la variación de energía cinética en las tres situaciones a, b y c de la actividad A.12.

A.24. Acabamos de proponer de manera intuitiva y a título de simples hipótesis, independientes unas de otras, las siguientes relaciones trabajo/energía:

$$a) W_{\text{ext}} = \Delta E_{\text{total}} ; b) W_{\text{int. cons.}} = -\Delta E_p ; c) W_{\text{res}} = \Delta E_c$$

Mostrar como, teniendo en cuenta dichas relaciones y que, evidentemente,

$$W_{\text{res}} = W_{\text{ext}} + W_{\text{int}}$$

se llega a la expresión totalmente coherente

$$\Delta E_{\text{T}} = \Delta E_{\text{p}} + \Delta E_{\text{c}} \text{ (y viceversa).}$$

A.25. Aplicar las tres relaciones trabajo/energía introducidas a la situación planteada en la actividad A.12. Mostrar que se cumple $\Delta E_{\text{T}} = \Delta E_{\text{c}} + \Delta E_{\text{p}}$.

Comentarios al apartado 3.1.

Las relaciones trabajo/energía no suelen presentarse con claridad ni siquiera en los textos universitarios. La A.20 permite, a los alumnos, sin embargo, intuir que cuando las fuerzas conservativas de un sistema actúan libremente (es decir, cuando el W_{int} es positivo) se produce una disminución de la energía potencial, lo que puede expresarse:

$$W_{\text{int}} = - \Delta E_{\text{p}}$$

En la A.22, partiendo del hecho de que los cambios de velocidad están relacionados con la fuerza resultante, los alumnos pueden establecer, siempre a título de hipótesis, que

$$W_{\text{res}} = \Delta E_{\text{c}}$$

Ambas relaciones vienen a añadirse a la primera introducida ($W = \Delta E$) que ahora puede reescribirse (A.19)

$$W_{\text{ext}} = \Delta E_{\text{total}}$$

La actividad A.24 muestra la coherencia de las tres relaciones trabajo/energía introducidas, lo que supone un indudable apoyo a su validez (pensemos que han sido introducidas como hipótesis independientes). Pero una vez más hay que insistir en que sólo la coherencia de todo el edificio teórico desarrollado y su adecuación para predecir y dar cuenta de los hechos validará las definiciones introducidas y las relaciones hipotetizadas.

Las actividades A.21, A.23 y A.25 actúan de refuerzo.

Hemos introducido hasta aquí, de forma intuitiva, las relaciones trabajo/energía. Es preciso ahora profundizar en estos conceptos y relaciones, pasando a su tratamiento cuantitativo y contrastando su validez en el abordaje de los problemas.

3.2. ENERGÍA CINÉTICA

A.26. Señalar, a título de hipótesis, de que factores dependerá la energía cinética de un cuerpo que se mueve respecto a otros.

A.27. Aplicad la relación $\Delta E_c = W_{res}$ para obtener la expresión de la energía cinética en función de los factores de que se considera depende (poniendo el trabajo en función de dichos factores).

A.28. Sobre un cuerpo de 15 Kg se realiza un trabajo resultante de 5000 J. ¿qué velocidad adquirirá?

A.29. Calcular el trabajo necesario para aumentar la velocidad de un cuerpo de 40 kg desde 25 a 50 m/s.

Comentarios apartado 3.2

La actividad A.26 es una nueva ocasión para ejercitar el pensamiento divergente y conduce a los alumnos a expresar la energía cinética en función de la velocidad y de la masa. Ello permite orientar el trabajo solicitado en A.27.: se trata de utilizar la relación $W_{res} = \Delta E_c$ expresando W_{res} en función de m y v , lo que conduce, de forma bastante elemental, a la conocida expresión de la energía cinética $\Delta E_c = \frac{1}{2} m v_2^2 - \frac{1}{2} m v_1^2$.

Las actividades A.28 y A.29 son meros ejercicios de aplicación sin dificultades.

3.3. ENERGÍA POTENCIAL GRAVITATORIA

De todas las formas de energía potencial consideradas vamos a ocuparnos aquí únicamente de la energía potencial gravitatoria del sistema constituido por la Tierra y un objeto próximo a ella.

A.30. Indicad de que factores cabe suponer dependerá la energía potencial gravitatoria cuando se tiene un cuerpo en las proximidades de la superficie terrestre.

A.31. Concebir una estrategia para obtener la expresión de las variaciones de la energía potencial gravitatoria del sistema constituido por la Tierra y un objeto situado en las proximidades de su superficie. Proceder a resolver el problema planteado y analizar el resultado obtenido.

A.31. (variante) Aplicad la relación $\Delta E_p = - W_{int\ cons}$ para obtener la

variación de energía potencial gravitatoria que estamos considerando.

A.32. Un cuerpo de 5 Kg se encuentra a 2 m del suelo de una habitación que, a su vez, está a 15 m sobre la calle. Hallar la energía potencial referida al suelo de la habitación y al suelo de la calle.

El cuerpo se deja ahora en libertad y cae hasta el suelo de la habitación. Hallar la variación de energía potencial utilizando como sistemas de referencia el suelo de la habitación y la calle. Comentar los resultados.

Comentarios apartado 3.3

De nuevo la actividad A.30 es ocasión de practicar la emisión de hipótesis. Como vemos, plantear actividades de pensamiento divergente es relativamente simple, lo que hace aún más inexplicable su práctica ausencia de los textos usuales.

La actividad A.31 pretende que los propios alumnos piensen en la relación $\Delta E_p = -W_{mg}$ como estrategia para obtener la variación de energía potencial gravitatoria (considerando, por ejemplo, la caída de un cuerpo a lo largo de una altura h y poniendo el trabajo de la fuerza gravitatoria en función de m , g y h). Esta actividad puede hacerse más explícita (y más sencilla), si necesario, utilizando la variante de A.31.

Por último, la actividad A.32 permite a los alumnos constatar el carácter relativo de las energías potenciales (respecto al nivel tomado como origen de alturas) y el carácter absoluto de las variaciones. Puede pensarse en una actividad semejante para las energías cinéticas.

Conviene llamar la atención sobre el error cometido en ocasiones por los alumnos, consistente en dar a g (en la expresión mgh) valores negativos o positivos «según el sistema de referencia» (fijación funcional adquirida en cinemática y que aquí, por supuesto carece de sentido).

4. ESTABLECIMIENTO DEL PRINCIPIO DE CONSERVACIÓN Y TRANSFORMACIÓN DE LA ENERGÍA

4.1. CONSIDERACIONES CUALITATIVAS EN FAVOR Y EN CONTRA DEL PRINCIPIO

Todo el mundo conoce, llegado a este nivel educativo, la existencia del principio de conservación de la energía. Resulta, sin embargo, interesante profundizar en las razones que lo avalan, más allá de la sim-

ple aceptación de lo que hemos visto escrito o se nos ha presentado como hecho incuestionable.

A.33. Exponer posibles argumentos cualitativos en favor y en contra del cumplimiento del principio de conservación de la energía. Dicho de otro modo, considerar situaciones en las que parezca cumplirse y otras en que no.

A.34. Considerar las relaciones trabajo/energía estudiadas hasta aquí y señalad razonadamente cual o cuales llevan implícito un principio de conservación y transformación de la energía total de un sistema.

Comentarios al apartado 4.1

Aunque, como se habrá constatado, somos profundamente partidarios de introducir numerosas actividades de emisión de hipótesis (núcleo central del trabajo científico como señala Hempel) hay ocasiones en que la información reiterada recibida sobre un tema quita todo interés a solicitar hipótesis en torno al mismo. No tendría sentido, por ejemplo, llevar a los alumnos de este nivel a que emitan hipótesis acerca de la conservación de la energía. Por contra, si creemos conveniente solicitar, como se hace en A.33, razones que apoyen dicho principio, enunciado habitualmente como algo obvio, de tan repetido. Con ello se intenta evitar un manejo mecánico, no significativo.

La consideración de situaciones en las que interviene la fricción introduce una aparente limitación a la idea de conservación. Cabe quizá posponer la clarificación completa de la cuestión al estudio del tema del calor. Mientras tanto puede bastar con consideraciones cualitativas acerca de la necesidad de incluir en ΔE_T la variación de energía cinética de las partículas debido a la fricción.

La actividad A.34 permite hacer ver como en $W_{\text{ext}} = \Delta E_{\text{total}}$ está implícito el principio de conservación (y transformación) de la energía de un sistema: y lo mismo ocurre en $W_{\text{res}} = \Delta E_c$; basta poner el trabajo resultante en función del interior más el exterior con lo que se tiene:

$$W_{\text{ext}} + W_{\text{int}} = \Delta E_c; \text{ y de aquí: } W_{\text{ext}} = \Delta E_c + \Delta E_p$$

4.2. ESTABLECIMIENTO EXPERIMENTAL DEL PRINCIPIO DE CONSERVACIÓN DE LA ENERGÍA

A.35. Diseñar algún montaje experimental para contrastar el principio de conservación de la energía (en su forma $W_{\text{ext}} = \Delta E_T$) en alguna situación particular de fácil realización.

A.36. (opcional) Breve presentación histórica del establecimiento del principio de conservación de la energía

Comentarios al apartado 4.2

Nos encontramos con un trabajo experimental muy complejo y sujeto a grandes imprecisiones. Los alumnos pueden concebir montajes experimentales relativamente sencillos (como un carrito deslizándose con rozamiento despreciable por un plano horizontal, tirado por un cuerpo que pende verticalmente a través de una polea) pero su realización supera, sin duda, sus posibilidades. Esta puede ser una ocasión para insistir en que no siempre un equipo de investigadores realiza todas las tareas de una investigación (más bien ello es la excepción hoy en día).

La actividad A.36 debe dar cuenta de las dificultades históricas del establecimiento experimental del principio (trabajos de Joule, Mayer,...). De nuevo hemos de señalar la conveniencia de posponer esta actividad al establecimiento, en el capítulo siguiente, de la equivalencia calor/trabajo. En Holton y Roller (1965) puede encontrarse un estudio histórico muy claro y sugerente. La realización de esta actividad aquí sólo tiene sentido si el tema de calor no se incluye en el desarrollo del curso.

5. RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS

Con los problemas que siguen se pretende, al tiempo que los alumnos se familiarizan con aspectos clave del trabajo científico, mostrar la potencia del nuevo tratamiento energético y su coherencia con el cinemático/dinámico.

A.37 Un objeto es lanzado por una superficie horizontal. ¿Qué distancia recorrerá hasta pararse?

A.38. Se deja caer un objeto. ¿Con que velocidad llegará al suelo?

A.39. ¿Qué potencia ha de desarrollar el motor de un ascensor?

A.40. Se lanza un objeto hacia arriba. ¿Qué altura alcanzará?

A.41. Se dispara una bala contra un muro ¿Qué distancia penetrará?

A.42. ¿Con que velocidad hay que lanzar una bola para que suba a la cúspide de un montículo?

Comentarios apartado 5

Nos remitimos aquí al capítulo sobre resolución de problemas como investigación en donde se recoge la resolución de problemas como los planteados en este apartado que constituyen ocasiones reiteradas de aplicar las relaciones trabajo energía o resolverse cinemático/dinámicamente. Se pueden utilizar también enunciados ordinarios (con datos, etc), pero recomendamos muy insistentemente la transformación de la resolución de los ejercicios habituales en verdaderos problemas en la forma que se describe en el capítulo mencionado y en el anexo B.

6. ACTIVIDADES COMPLEMENTARIAS

A.1. Haced una estimación aproximada del consumo eléctrico de un mes en vuestra casa (teniendo en cuenta todos los electrodomésticos, bombillas, ...) y comparar con los KWh que indican los recibos de la compañía eléctrica.

A.1. (variante) Realizad una estimación aproximada del consumo de KWh en este Centro de enseñanza, teniendo en cuenta horas de iluminación, etc. Comparar con los datos proporcionados por la Secretaría del Centro.

A.2. Elaborar una síntesis ordenada del tema.

A.3. Elaborar una relación de fuentes de energía, indicando su naturaleza, problemas de su utilización, etc.

A.3 (variante). Realizad un estudio de los tipos de energía consumida en vuestro país: su origen. cantidad consumida, problemas relacionados, etc.

A.4. Seguid en la prensa, durante el tiempo que indique el profesor, todas las noticias relacionadas con la energía. Elaborar un dossier con las mismas.

Proponemos, por último, las siguientes actividades que globalizan bastantes de los aspectos introducidos en el tema:

A.5. Una fuerza de 50N tira hacia arriba de un cuerpo de 2 Kg de masa haciéndole ascender 40 cm. Calcular ΔE_c , ΔE_p y ΔE_T aplicando las relaciones trabajo/energía. Si en dicho instante cesa la fuerza, describir el movimiento que seguirá el objeto y calcular la velocidad que llevará al llegar al suelo.

A.6. Un cuerpo de 4 Kg cae libremente desde una altura de 2000 m. Si suponemos constante la intensidad del campo gravitatorio $g = 10$ N/Kg y despreciable el rozamiento del aire:

- (a) Calcular el tiempo total de caída.
- (b) Calcular cada dos segundos contados a partir del instante inicial, el valor de la energía potencial y el de la energía cinética (a partir de los valores de h y de v obtenidos cinemáticamente). Verificar si la suma de ambas se mantiene constante. Construir una tabla que racionalice los cálculos.
- (c) Representar los valores obtenidos de energía potencial, cinética y total en un mismo diagrama frente al tiempo.

A.7. Sugerir posibles medidas fáciles de llevar a la práctica por cada uno y que supongan un ahorro de energía.

Comentarios a las actividades complementarias

Las actividades aquí incluidas lo son a título de ejemplo. Se trata de proponer actividades que superen un tratamiento puramente escolar, abordar las relaciones ciencia/sociedad, etc. Por supuesto no se trata de actividades a hacer necesariamente al final del tema, sino que pueden ir incluyéndose a lo largo del mismo o en recapitulaciones posteriores.

ANEXO F

EJEMPLO DE PROGRAMA-GUÍA DE ACTIVIDADES. LA QUÍMICA DEL CARBONO: UN NUEVO NIVEL DE ORGANIZACIÓN DE LA MATERIA

1. INTRODUCCIÓN

Quizá pueda parecer extraño que en un curso general de las ciencias físico-químicas en el que nos hemos de limitar a la presentación de sus aspectos fundamentales, dediquemos un capítulo a la química de un único elemento. Existen, sin embargo, como veremos, poderosas razones para ello.

A.1. Elaborar una relación de sustancias, materiales, etc, de los que se supone que forma parte el carbono.

Comentarios A.1

La consideración de las relaciones de materiales elaboradas por los alumnos debe permitir dejar claro el papel fundamental que el carbono juega en los seres vivos. El profesor puede precisar que, pese a no ser uno de los elementos más abundantes en la corteza terrestre (menos del 1%), se conocen muchos más compuestos del mismo que del resto de los elementos conjuntamente, si exceptuamos el hidrógeno que le acompaña en la casi totalidad de sus compuestos.

Conviene, por otra parte, no resaltar demasiado, en este primer momento, el papel del carbono en la enorme serie de productos sin-

téticos —para no interferir en la realización de las actividades A.3 y A.4— posponiendo este aspecto a la actividad A.5.

A.2. Acabamos de ver que un gran número de productos naturales tienen en su composición al carbono como uno de sus elementos básicos, acompañado en general por el hidrógeno. Exponer algún procedimiento sencillo para detectar la presencia de proporciones elevadas de C e H en dichos productos.

Comentarios A.2

Los alumnos se refieren, por supuesto, a la facilidad de combustión de dichos productos, con formación de CO_2 , H_2O y escasos residuos sólidos. A menudo, algún grupo menciona también el efecto que produce un fuerte calentamiento sin combustión («como el que tiene lugar cuando olvidamos algo en el horno») que conduce a la carbonización, es decir, a un residuo importante de carbono.

El profesor puede impulsar a afinar los procedimientos de análisis y referirse a la importancia de los mismos en los controles de calidad de alimentos, etc.

En cualquier caso, esta actividad permite evitar un tratamiento puramente verbal y da lugar a ensayos cualitativos —que incluso pueden realizarse en casa— y a la interpretación de fenómenos de la vida cotidiana.

A.3. El enorme número de compuestos de carbono presentes en los seres vivos —vegetales y animales— con una composición más compleja que las sustancias de origen mineral, condujo a lo que se denomina «teoría vitalista»: según esta teoría existiría una auténtica barrera entre los compuestos minerales o «inorgánicos» y los procedentes de sustancias vivas u «orgánicos», de forma que estos últimos no podrían ser sintetizados en el laboratorio y precisarían de una «fuerza vital» que sólo los seres vivos poseen.

Comentar esta concepción vitalista y, en particular, sugerir alguna estrategia dirigida a su contrastación.

Comentarios A.3

Esta es una actividad que puede ser muy útil para discutir la importancia de la ideología en el trabajo científico, rompiendo con la visión estereotipada y errónea de la «objetividad del científico» (Aikenhead 1985). De hecho, detrás de esta discusión sobre la posibilidad o no de sintetizar los compuestos orgánicos, aparece la confrontación entre las concepciones creacionistas —que sostenían la necesidad de la «fuerza vital» y la incapacidad del hombre para sintetizar sustancias orgánicas— frente a las inmanentistas. Es importante poner de relieve

ve estas connotaciones ideológicas y no esconder los aspectos más debatibles y apasionantes del trabajo científico (Gil 1985).

La estrategia solicitada para la contrastación de la teoría vitalista conduce a los alumnos a sugerir la búsqueda de los compuestos orgánicos más sencillos y concentrar en ellos los intentos de síntesis. El profesor puede hacer referencia a los trabajos de Whöler, Kolbe, Berthelot...

El aprovechamiento del debate sobre la teoría vitalista puede completarse en la actividad siguiente A.4:

A.4. La teoría vitalista es un claro ejemplo de la postura ideológica que se ha opuesto, a lo largo de la historia de las ciencias, a una imagen unitaria de la materia. Recordad otras «barreras» semejantes y comentar su influencia.

Comentarios A.4

Con esta actividad se facilita una revisión de la lucha de la ciencia por la libertad de pensamiento y acción. Los alumnos recuerdan así la visión aristotélico/escolástica —que introducía una neta separación entre mundo sublunar y supralunar— y todo el debate entre geocentrismo y heliocentrismo, asociado a condenas, encarcelamientos e incluso muertes. Y puede citarse también el rechazo del origen animal del hombre y la condena de la teoría evolucionista, con la inclusión (¡en pleno siglo XIX!) de la obra de Darwin en el Index Librorum Prohibitorum.

A.5. Tras el hundimiento de la teoría vitalista, la síntesis de compuestos orgánicos se ha generalizado y ha conducido tanto a la obtención en el laboratorio de sustancias naturales como a la creación de otras nuevas. Enumerar algunas de las más importantes aplicaciones de las síntesis orgánicas.

Comentarios A.5

Es ahora el momento de referirse a la enorme importancia de la síntesis orgánica: desde las vitaminas a los plásticos pasando por las fibras artificiales y la casi totalidad de los medicamentos (antibióticos, etc.). Y puede ser también una buena ocasión para comentar los peligros prácticos de ciertas barreras ideológicas.

2. ESPECIFICIDAD DE LA QUÍMICA DEL CARBONO

La indudable unidad de toda la materia —de la que son expresión cuantitativa los principios de conservación y transformación— no

debe esconder que existe realmente una diferencia cualitativa entre el comportamiento del carbono y el resto de los elementos; una diferencia que, aunque explicable por los mismos principios de estructura electrónica que justifican las propiedades de cualquier elemento, merece ser resaltada:

A.6. Considerar la estructura electrónica del carbono y tratar de explicar las enormes posibilidades de combinación de este elemento con el hidrógeno y consigo mismo, dando lugar a compuestos constituidos por cadenas de tamaño variable, con o sin ramificaciones, etc.

Comentarios A.6

Se intenta con esta actividad que los alumnos vean las ilimitadas posibilidades de formación de compuestos a partir de enlaces, naturalmente, covalentes.

Aunque en el tema de enlace no se ha visto nada sobre modelos moleculares —de acuerdo con el carácter necesariamente elemental de este curso— la discusión sobre la tetravalencia habitual del carbono puede utilizarse para que el profesor —si dispone del tiempo suficiente— haga una introducción muy elemental a la distribución de las nubes electrónicas, justificando su orientación en el espacio. Ello permite una utilización significativa de los modelos moleculares para la construcción de moléculas orgánicas y una llamada de atención sobre las limitaciones del modelo de puntos.

El profesor puede dar también algunas indicaciones —o remitir a algún libro de datos— sobre la estabilidad de los enlaces C-C y C-H.

A.7. Predecir las fórmulas de tres compuestos de C e H con, respectivamente, 1, 2 y 3 átomos de carbono.

A.7 bis. Construir los modelos moleculares de los compuestos de la actividad A.7.

Comentarios A.7 y A.7 bis

Estas actividades permiten mostrar la potencia predictiva del modelo. El profesor puede apovechar para referirse —sin insistir— a las posibilidades de compuestos con doble y triple enlace entre carbono y carbono. Y posponiendo el estudio sistemático de la nomenclatura de los hidrocarburos a cursos más avanzados, puede hacer referencia a que se trata de sustancias bien conocidas y de uso cotidiano como el metano o el propano. Según el tiempo disponible se puede insistir en actividades de este tipo:

A.8 (optativa). ¿Cuántos compuestos distintos de cuatro átomos de

carbono (con sólo simples enlaces) se pueden formar? Escribir sus fórmulas y construir posteriormente los modelos moleculares.

A.9. Muchos compuestos orgánicos, además de átomos de C e H pueden contener algún átomo de otros elementos capaces de formar enlaces covalentes con el C. Señalar algunos de estos elementos.

Comentarios A.9

Los alumnos se refieren, lógicamente, al oxígeno, nitrógeno, etc. La actividad constituye en cierto modo una revisión de algunas ideas clave vistas en el capítulo de enlace y, en particular sobre el enlace covalente.

A.10. Predecir distintas formas de unirse dos átomos de carbono, uno de oxígeno y los hidrógenos necesarios. Construir posteriormente los modelos moleculares.

Comentarios A.10

Con esta actividad los alumnos pueden adquirir una visión más completa de las enormes posibilidades de combinación que presenta el carbono y comprender por qué el número de compuestos orgánicos supera con creces a los inorgánicos. El profesor puede aprovechar para referirse al cambio cualitativo que ello supone: existe ahora una variación muy gradual de propiedades de unas sustancias a otras, por lo que con pequeños intercambios energéticos se producen fácilmente transformaciones de unas a otras. Y puede terminar señalando cómo todo ello sienta las bases para el surgimiento de la vida. La actividad permite, además, referirse a sustancias bien conocidas por los alumnos: alcohol, ácido acético... Digamos, por último, que puede ser útil ahora incluir una actividad como la siguiente:

A.11 (optativa). Estudiar experimentalmente algunas propiedades de sustancias orgánicas de fácil acceso (etanol, glucosa, naftaleno...) para corroborar el tipo de uniones atribuido a las mismas en las actividades A.6, A.9 y A.10.

Comentarios A.11

Esta actividad permite revisar y poner en práctica algunos de los procedimientos de distinción entre tipos de sustancias que se vieron en el capítulo de enlace, contribuyendo así —junto a las actividades A.2, A.7 bis o A.8— a evitar un estudio excesivamente verbal y poco práctico. Nos remitimos aquí a lo visto sobre la clasificación de las sustancias atendiendo a sus propiedades.

Terminamos aquí esta breve introducción a la química del carbono que aparece como un nuevo nivel de organización de la materia con características propias y que merecería, sin duda, un tratamiento mucho más profundo.

3. ACTIVIDADES COMPLEMENTARIAS

A.12. Proceder —tras las consultas bibliográficas pertinentes— a la fabricación de jabón.

A.13. Hemos visto como la materia orgánica puede quemarse con facilidad, liberando gran cantidad de energía. Recordar un proceso vital que pueda considerarse una «combustión controlada», explicando su función, características, etc.

A.14. ¿Por qué se recomienda tomar terrones de azúcar tras un esfuerzo?

A.15. Proponer ejemplos del papel de la Química en la explicación de los procesos vitales.

A.16. La utilización del petróleo como combustible —cuyas reservas son, evidentemente, limitadas— puede considerarse un caso extremo de sometimiento a la política de intereses a corto plazo con grave perjuicio para las futuras generaciones. Enumerar productos importantes que se obtienen a partir del petróleo y recomiendan evitar su despilfarro como combustible. Proponer asimismo otras alternativas energéticas

A.17. Buscar información sobre el llamado «efecto invernadero», sus peligros y posibles formas de contrarrestarlo

Comentarios A.16 y A.17

Se trata de actividades concebidas para facilitar la discusión sobre la responsabilidad de los científicos y la necesidad de que los ciudadanos adquieran la formación que les permita intervenir conscientemente en la toma de decisiones (Aikenhead 1985; Penick y Yager 1986). Esta discusión puede completarse con la consideración de otros efectos como la «lluvia ácida», «smog», etc.

A.18. El desarrollo de la Física, la Química y las demás ciencias contribuye a mostrar la unidad de toda la materia. Pero también muestra que se trata de una unidad estructurada, con niveles de or-

ganización que se rigen por leyes propias, no reducibles a las del nivel inferior, y con procedimientos de transformación dentro de cada nivel y de uno a otro nivel. A modo de síntesis, proponer la elaboración de un esquema de los distintos niveles de organización de la materia.

Comentarios A.18

Con esta actividad pretendemos favorecer una síntesis que —abrazando desde los niveles subatómicos a la materia orgánica, la biología o las mismas historia y psicología— muestre la capacidad de las ciencias para interpretar la realidad, para construir una imagen sugerente y enriquecedora, más allá de los habituales planteamientos operativistas o de visiones simplistas (Gil 1981).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACEVEDO, J. A., et al (1989) *Sobre las concepciones en Dinámica elemental de los adolescentes formales y concretos y el cambio metodológico*. Enseñanza de las Ciencias, 7 (1), 27-34.
- AGUILA R., FARRUS, N., GIL D. y GONZÁLEZ, A. (1988) *Les expectatives dels professors i els resultats de l'aprenentatge*. III Jornades d'Investigació Educativa. Lleida.
- AIKENHEAD, G. S. (1985) *Collective decision making in the social context of science*. Science Education, 69 (4), 453-475.
- AIKENHEAD, G. S. y DESAUTELS, J. (1989) *Monitoring student views on S-T-S topics: the development of multiple-choices items*. (Comunicación presentada en el simposium de la NARST en abril de 1989. San Francisco).
- ALIBERAS, J. GUTIÉRREZ, R. y IZQUIERDO, M. (1989) *La didáctica de les ciències: una empresa racional*. Enseñanza de las Ciencias, 7 (3), 277-284.
- ALONSO, S.M. (1990) *Propuesta de evaluación en Física y Química desde las concepciones actuales sobre el aprendizaje de las ciencias y el análisis de la evolución habitual*. (Tesis de Master. Universitat de València).
- ALONSO, M. y FINN, E. (1971) *Física*. Aguilar.
- ANDERSON, B. (1990) *Pupils' conception of matter and its transformations (age 12-16)*. Studies in Science Education, 18, 53-85.
- APPLE, M. W. (1986) *Ideología y Currículo*. (Akal: Madrid).
- ASTOLFI, J. P. y DEVELAY, M. (1989) *La didactiques des sciences*. (PUF: París).
- ASTUDILLO, H., ESTRADA, M.^a A., FARRUS, N., GIL, D. y GROS, M.^a

- J. (1988) *Influencia de las expectativas del profesor sobre el rendimiento escolar*. III Jornades d'Investigació Educativa. Lleida.
- AUSUBEL, D. P. (1978) *Psicología Educativa. Un punto de vista cognoscitivo*. (Trillas: México).
- AVERCH, H. A. et al (1972) *How effective is schooling? Research on Exemplary Schools*. (Citado por Rivas 1986).
- AZCARATE, G.C. (1990) *La velocidad: introducción al concepto de derivada*. (Tesis doctoral, Universitat Autònoma de Barcelona).
- BACHELARD, G. (1938) *La formation de l'esprit scientifique*. (Vrin: París).
- BAIRD, J. R. (1986) *Improving learning through enhanced metacognition: A classroom study*. European Journal of Science Education, 8 (3), 263-282.
- BARANDIARAN, J. (1988) *El modelo de enseñanza/aprendizaje de las ciencias en la reforma de las enseñanzas medias*. Enseñanza de las Ciencias, 6 (2), 167-178.
- BARBERA, O. y SANJOSÉ, V. (1990) *Juegos de simulación por ordenador: un útil para la enseñanza a todos los niveles*. Enseñanza de las Ciencias, 8 (1), 46-51.
- BENLLOCH (1984) *Por un aprendizaje constructivista de las ciencias*. (Visor: Madrid).
- BERNAL, J. D. (1967) *Historia Social de la Ciencia*. (Península: Barcelona).
- BEVILACQUA, F. y KENNEDY, P. J. (1983) *Proceedings of the International Conference on Using History of Physics in Innovative Physics Education*. (University of Pavia: Pavia).
- BLOOM, B., HASTINGS, T. y MADAUS, G. (1975) *Evaluación del aprendizaje*. (Troquel: Buenos Aires).
- BOYER, R. y TIBERGHEN, A. (1989) *Las finalidades de la enseñanza de la Física y Química vistas por los profesores y alumnos franceses*. Enseñanza de las Ciencias, 7 (3), 213-228.
- BRINCONES, I., FUENTES, A., NIEDA, J., PALACIOS, M. J. y OTERO, J. (1986) *Identificación de comportamientos y características deseables del profesorado de ciencias experimentales del bachillerato*. Enseñanza de las Ciencias, 4 (3), 209-222.
- BROMME, R. (1984) *On the limitations of the theory metaphor for the study teachers' expert knowledge*, en Halkes y Olson J, K, eds, *Teachers thinking. A new perspective on persisting problems in education*. (Swets y Zeitlinger: Lisse, N.L).
- BROMME, R. (1988) *Conocimientos profesionales de los profesores*. Enseñanza de las Ciencias, 6 (1), 19-29.
- BULLEJOS, J. (1983) *Análisis de actividades en textos de Física y Química de 2º de BUP*. Enseñanza de las Ciencias, 1 (3), 147-157.
- BUNGE, M. (1796) *La Investigación Científica*. (Ariel: Barcelona).

- BYBFE, R. W. (1977) *The new transformation of science education*. Science Education, 61, 85-87.
- CAAMAÑO, A. (1988) *Tendencias actuales en el currículo de ciencias*. Enseñanza de las Ciencias, 6 (3), 265-277.
- CALATAYUD, M. L., CARBONELL, F., CARRASCOSA, J., FURIO, C., GIL, D., GRIMA, J., HERNÁNDEZ, J., PAYÀ, J., RIBÓ, J., SOLBES, J., VILCHES, A. (1990) *La construcción de las ciencias físico-químicas*. (Ed. Librería NAU llibres: Valencia). Libro del alumno y libro del profesor.
- CALATAYUD, M. L., FURIO, C. et al (1980) *Los trabajos prácticos de Química como pequeñas investigaciones*. (ICE Universidad de Valencia: Valencia).
- CALATAYUD, M. L., GIL, D. et al (1980) *Los trabajos prácticos de Física como pequeñas investigaciones*. (ICE Universidad de Valencia: Valencia).
- CAÑAL P. (1990) *La enseñanza en el campo conceptual de la nutrición de las plantas verdes*. Tesis Doctoral. Universidad de Sevilla.
- CAÑAL, P. y PORLAN, R. (1987) *Investigando la realidad próxima: un modelo didáctico alternativo*. Enseñanza de las Ciencias, 5 (2), 89-96.
- CAÑAL, P. y PORLAN, R. (1988) *Bases para un programa de investigación en torno a un modelo didáctico de tipo sistémico e investigativo*. Enseñanza de las Ciencias, 6 (1), 54-60.
- CANDEL, A., SOLER, J. B. y GIL, D. (1990) *Influencia de las actividades escolares sobre la actitud de los alumnos hacia las ciencias*. (Documento de trabajo).
- CANDEL, A., SOLER, J. B. y SATOCA, J. (1983) *Un ejemplo de profundización en los trabajos prácticos de Física*. Enseñanza de las Ciencias, 1 (1), 38-41.
- CARAMAZZA, A., MCCLOSKEY, M. y GREEN, B. (1981) *Naive beliefs in «sophisticated» subjects: misconceptions about trajectories of objects*. Cognitions, 9, 117-123.
- CARRASCOSA, J. (1985) *Errores conceptuales en la enseñanza de la física y la química: una revisión bibliográfica*. Enseñanza de las Ciencias, 3 (3), 230-234.
- CARRASCOSA, J. (1987) *Tratamiento didáctico en la enseñanza de las ciencias, de los errores conceptuales*. Tesis Doctoral. (Servei de Publicacions de la Universitat de Valencia: Valencia).
- CARRASCOSA, J., FERNÁNDEZ, I., GIL, D. y OROZCO, A. (1990) *La visión de los alumnos sobre lo que el profesorado de ciencias ha de saber y saber hacer*. Investigación en la Escuela. (Pendiente de publicación).
- CARRASCOSA, J., FERNÁNDEZ, I., GIL, D. y OROZCO, A. (1991) *Diferencias en la evolución de las preconcepciones científicas: un ins-*

- trumento para la comprensión de su origen. O Ensino de Física. Brasil. (Pendiente de publicación).
- CARRASCOSA, J., FURIO, C. y GIL, D. (1984) *Criterios básicos para la elaboración de un curriculum de Física y Química*. Enseñanza de las Ciencias, 2 (2), 103-110.
- CARRASCOSA, J., FURIO, C. y GIL, D. (1985) *Formation du professorat des Sciences et changement methodologique*. VIIémes Journées Internationales sur l'enseignement Scientifique, 301-308.
- CARRASCOSA, J. y GIL, D. (1982) *Los errores conceptuales en la enseñanza de la física I. Un estudio de su persistencia*. Actas de las Primeras Jornadas de Investigación Didáctica en Física y Química. ICE de la Universitat de Valencia.
- CARRASCOSA, J. y GIL, D. (1985) *La metodología de la superficialitat i l'aprenentatge de les ciències*. Enseñanza de las Ciencias, 3 (2), 113-120.
- CASADELLA, R. J. y BIBILONI, L. (1985) *La construcción histórica del concepto de fuerza centrípeta en relación con las dificultades de su aprendizaje*. Enseñanza de las Ciencias, 3 (3), 217-224.
- CATALÁN, A. y CATANY, M. (1986) *Contra el mito de la neutralidad de la ciencia: el papel de la historia*. Enseñanza de las Ciencias, 4 (2), 163-166.
- CERVANTES, A. (1987) *Los conceptos de calor y temperatura: una revisión bibliográfica*. Enseñanza de las Ciencias, 5, 66-70.
- CHALMERS, A. F. (1982) *What is this thing called science?* (Open University Press: Milton Keynes. Existe traducción al castellano en Siglo XXI: Madrid).
- CHAMPAGNE, A. B., GUNSTONE, R. F. y KLOPFER, L. E. (1985) *Efecting changes in cognitive structures among physics students*. In West L.H.T. and Pines A.L. (Eds). *Cognitive structure and conceptual change*. Orlando. FL: Academic Press.
- COLEMAN, et al (1966) *Equality of Educational Opportunity* (Citado por Rivas 1986).
- COLL, C. (1985) *Acción, interacción y construcción del conocimiento en situaciones educativas*. Anuario de Psicología, 33, 59-70.
- COLL, C. (1987) *Psicología y Curriculum*. (Barcelona: Laia).
- COLL, C. (1989) *Diseño Curricular Base y Proyectos Curriculares*. Cuadernos de Pedagogía, 168, 8-14.
- COLOMBO DE CUDMANI, L., PESA DE DANON, M. y SALINAS DE SANDOVAL, J. (1986) *La realimentación en la evaluación de un curso de laboratorio de Física*. Enseñanza de las Ciencias, 4 (2), 122-128.
- COLUB, M. y KOLEN, C. (1976) *Evaluation of Piagetan Kindergarten Program*. Artículo presentado en el sexto simposio anual de la Jean Piaget Society (Philadelphia junio de 1976).
- DE LA ROSA, C. et al (1984) *Common sense knowledge in optics: Pre-*

- liminary results of an investigation into the properties of light.* European Journal of Science Education. 6 (4), 387-397.
- DEL CARMEN, L. (1990) *La elaboración de proyectos curriculares de centro en el marco de un currículo de ciencias abierto.* Enseñanza de las Ciencias, 8 (1), 37-45.
- DELVAL, J. (1985) *Las ideas espontáneas de los alumnos en el aprendizaje de las ciencias: el caso de la luz.* Revista de Educación, 278, 119-131.
- DEWEY, J. (1916) *Democracy and education.* (The Free Press, Nova York).
- DEWEY, J. (1945) *Methods in Science Teaching.* Science Education, 29, 119-123.
- DIBAR URI, U. C. (1990) *Problemática, metodología y teoría: el recorrido de un grupo de investigación en enseñanza de las ciencias,* Enseñanza de las ciencias, 8 (2), 140-143.
- DRIVER, R. (1986) *Psicología cognoscitiva y esquemas conceptuales de los alumnos.* Enseñanza de las Ciencias, 4 (1), 3-15.
- DRIVER, R. (1988) *Un enfoque constructivista para el desarrollo del currículo en ciencias.* Enseñanza de las Ciencias, 6 (2), 109-120.
- 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, vol 10, 37-70.
- DRIVER, R. y OLDHAM, V. (1986) *A constructivist approach to curriculum development in science.* Studies in Science Education, 13, 105-122.
- DUIT, R. (1981) *Understanding energy as conserved quantity.* European of Science Education, 3 (3), 291.
- DUMAS-CARRE, A. (1987) *La resolution de problemes en Physique au Lycée.* Tesis Doctoral. Universidad de París 7.
- DUMAS-CARRE, A., FURIO, C. y GARRETT, R. (1990) *Formación inicial del profesorado de ciencias en Francia, Inglaterra y Gales y España. Análisis de la organización de los estudios y nuevas tendencias.* Enseñanza de las Ciencias, 8 (3), 274-281.
- ELSHOUT, J. J. (1985) *Problem solving and education, state of the art paper.* Earli conference Lewen. Junio de 1985.
- 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.
- ERIKSON, G. y ERIKSON, L. (1984) *Females and science achievement: evidence, explanations and implications.* Science Education, vol 68, 63-89.
- ESCODERO, T. (1985) *Las actitudes en la enseñanza de las ciencias: un panorama complejo.* Revista de Educación, 278, 5-25.
- FERNÁNDEZ, J. M. (1987) *Estudio del grado de persistencia de ciertos*

- preconceptos sobre la estática de fluidos en alumnos de 2º curso de BUP.* Enseñanza de las Ciencias, 5 (1), 27-32.
- FERNÁNDEZ ROJERO, F. y MORENO RODRÍGUEZ, M.ª L. (1989) *Educación ambiental y diseño curricular.* Enseñanza de las Ciencias, 7 (1), 21-26.
- FERNÁNDEZ URÍA, E. (1979) *Estructura y didáctica de las ciencias* (MEC: Madrid).
- FEYERABEND, P. (1975) *Against Method* (Verso: London. Existe traducción al castellano en Siglo XXI: Madrid).
- FINEGOLD, M. y MASS, R. (1985) *Differences in the processes of solving physics problems between good physics problem solvers and poor physics problem solvers.* Research in Science and Technological Education, 3 (1), 59-67.
- FREDETTE, N. y LOCHHEAD, J. (1981) *Students conceptions of electric current.* The Physics Teacher, vol 18, 194-198.
- FREINET, C. (1976) *La enseñanza de las ciencias.* (Laia: Barcelona).
- FREY K. (1989) *Integrated science curriculum: 20 years on.* International Journal of Science Education, 11 (1), 3-17.
- FURIO, C. 1986(a). *Metodología utilizada en la detección de dificultades y esquemas conceptuales en la enseñanza de la Química.* Enseñanza de las Ciencias, 4 (1), 73-77.
- FURIO, C. 1986(b). *Un curriculum de Física y Química para EEMM basado en la investigación didáctica. Primeros resultados.* Actas de las IV Jornadas de Investigación en la Escuela. Sevilla.
- FURIO, C. y GIL, D. (1978) *El programa-guía: una propuesta para la renovación de la didáctica de la Física y Química.* (ICE de la Universidad de Valencia).
- FURIO, C. y GIL, D. (1989) *La didáctica de las ciencias en la formación inicial del profesorado: una orientación y un programa teóricamente fundamentados.* Enseñanza de las Ciencias, 7 (3), 257-265.
- FURIO, C. y HERNÁNDEZ, J. (1983) *Ideas sobre los gases en alumnos de 11 a 15 años,* 1 (2), 83-92.
- FURIO, C., HERNÁNDEZ, J. y HARRIS, H. (1987) *Parallels between adolescents' conception of gases and the history of Chemistry.* Journal of Chemical Education. 64 (7), 617-618.
- FURIO, C. y ORTIZ, E. (1983) *Persistencia de errores conceptuales en el equilibrio químico.* Enseñanza de las Ciencias, 1 (1), 15-20.
- FURIO, C. y REYES, V. (1990) *O modelo de resolução de problemas como investigação-aplicação a Química.* Boletim da Sociedade Portuguesa de Química, vol 41.
- GAGLIARDI, R. y GIORDAN, A. (1986) *La historia de las ciencias: una herramienta para la enseñanza.* Enseñanza de las Ciencias, 4 (3), 253-259.

- GARCÍA, J. E. (1987) *La interacción con el medio en relación con la investigación en la escuela*. Investigación en la Escuela, 1, 58-62.
- GARCÍA-HOURCADE, J. L. y RODRÍGUEZ DE AVILA, C. (1985) *Preconcepciones sobre el calor en 2º de BUP*. Enseñanza de las Ciencias, 3 (3), 188-194.
- GARRETT, R. M. (1987) *Issues in Science Education: problem-solving, creativity and originality*. International Journal of Science Education, 9 (2), 125-137.
- GAULD, C. F. y HUKINS, A. A. (1980) *Scientific attitudes: a review*. Studies in Science Education, 7, 129-161.
- GENÉ, A. (1986) *Transformació dels treballs pràctics de Biologia: una proposta teòricament fonamentada*. Tesis Doctoral. (Biblioteca de la Facultat de Biologia de la Universitat de Barcelona: Barcelona).
- GENÉ, A. y GIL, D. (1983) *Els treballs pràctics de Biologia i el mètode científic. Una proposta basada en el descobriment guiat*. Primeres Jornades de recerca Educativa. LLeida 1982. (ICE de la Universitat Autònoma de Barcelona), pp 135-149.
- GENÉ, A. y GIL, D. (1987) *Tres principios básicos en el diseño de la formación del profesorado*. Andecho Pedagógica, 18, 28-30.
- GIL, D. (1981) *Evolución de la idea de materia. (Un hilo conductor para el estudio de la física)*. Instituto de Ciencias de la Educación de la Universitat de València.
- GIL, D. (1982) *La investigación en el aula de Física y Química*. (Anaya: Madrid).
- GIL, D. (1983) *Tres paradigmas básicos en la enseñanza de las ciencias*. Enseñanza de las Ciencias, 1 (1), 26-33.
- GIL, D. (1985) *El futuro de la enseñanza de las ciencias*. Revista de Educación, 278, 27-38.
- GIL, D. (1986) *La metodología científica y la enseñanza de las ciencias: unas relaciones controvertidas*. Enseñanza de las Ciencias, 4 (2), 111-121.
- GIL, D. (1990) *Por una formación permanente efectiva en* GIL, D. (ed). *La formación de formadores en didáctica de las ciencias*. (Nau Llibres: Valencia).
- GIL, D. (1991) *¿Qué han de saber y saber hacer los profesores de ciencias?* Enseñanza de las Ciencias. (Pendiente de publicación).
- GIL, D. y CARRASCOSA, J. (1985) *Science learning as a conceptual and methodological change*. European Journal of Science Education, 7 (3), 231-236.
- GIL, D. y CARRASCOSA, J. (1990) *What to do about science misconceptions?* Science Education, 74 (5), 531-540.
- GIL, D., DUMAS-CARRE, A., CAILLOT, M. y MARTÍNEZ TORREGROSA, J. (1990) *Paper and pencil problem solving in the physical sciences*

- as an activity of research. *Studies in Science Education*, 18, 137-151.
- GIL, D., DUMAS-CARRE, A., CAILLOT, M., MARTÍNEZ TORREGROSA, J. y RAMÍREZ, L. (1989) *La resolución de problemas de lápiz y papel como actividad de investigación*. *Investigación en la Escuela*, 6, 3-20.
- GIL, D. y MARTÍNEZ-TORREGROSA, J. (1983) *A model for problem solving in accordance with scientific methodology*. *European Journal of Science Education*, 5, 447-455.
- GIL, D. y MARTÍNEZ TORREGROSA, J. (1984) *Problem-Solving in Physics: a critical analysis*. *Research on Physics Education*. (Editions du CNRS: París).
- GIL, D. y MARTÍNEZ TORREGROSA, J. (1987) *La resolución de problemas de Física*. (Ediciones del M.E.C.: Madrid).
- GIL, D., MARTÍNEZ TORREGROSA, J. y SENENT, F. (1988) *El fracaso en la resolución de problemas: una investigación orientada por nuevos supuestos*. *Enseñanza de las Ciencias*, 6 (2), 131-146.
- GIL, D. y PAYA, J. (1988) *Los trabajos prácticos de Física y Química y la metodología científica*. *Revista de Enseñanza de la Física*, 2 (2), 73-79.
- GILBERT, J. K., OSBORNE, R. J. y FENSHMAN, P. J. (1982) *Children's Science and its consequences for teaching*. *Science Education*, 66 (4), 623-633.
- GIMENO, J. (1982) *La pedagogía por objetivos: obsesión por la eficiencia*. (Morata: Madrid).
- GIMENO, J. (1989) *Profesionalidad docente, curriculum y renovación pedagógica*. *Investigación en la escuela*, 7, 3-21.
- GIMENO, J. (1990) *El perfeccionamiento como desarrollo de la profesionalidad docente*, en Gil, D. (ed). *La formación de formadores en didáctica de las ciencias*. (Nau Llibres: Valencia).
- GIORDAN, A. (1978) *Observation - Experimentation: mais comment les élèves apprennent-ils?* *Revue Française de Pédagogie*, 44, 66-73.
- GIORDAN, A. (1985) *Interés didáctico de los errores de los alumnos*. *Enseñanza de las Ciencias*, 3 (1), 11-17.
- GRANDA, A. (1988) *Esquemas conceptuales previos de los alumnos en Geología*. *Enseñanza de las Ciencias*, 6 (3), 239-243.
- GRUP RECERCA, 1980-82. *Proyecto Faraday*. (ICE Universitat Autònoma: Barcelona).
- GRUPO ALKALI, 1990. *Ideas de los alumnos acerca del mol*. *Estudio curricular*. *Enseñanza de las Ciencias*, 8 (2), 111-118.
- GUTIÉRREZ, R. (1987) *La investigación en didáctica de las ciencias. Elementos para su comprensión*. *Bordón*, 268, 339-362.
- GUTIÉRREZ, F. A. y RODRÍGUEZ, L. M.^a (1987) *El aprendizaje de la*

- Física como investigación: un ejemplo de aplicación en la Enseñanza Media.* Enseñanza de las Ciencias, 5 (2), 135-144.
- HAGGIS, S. y ADEY, P. (1979) *A review of integrated science education worldwide.* Studies in Science Education, 61, 69-89.
- HALLOUN, I. A. y HESTENES, D. (1985) *Common sense concepts about motion.* American Journal of Science Education, 7 (3), 231-236.
- HAPPS (1985) *Regression in learning: some examples from earth sciences.* (Citado en Hewson y Thorley, 1989).
- HASAN, O. E. (1985) *An investigation into factors affecting attitudes toward science of secondary school students in Jordan.* Science Education 69 (1), 3-18.
- HASHWEH, M. Z. (1986) *Towards an explanation of conceptual change.* European Journal of Science Education, 8 (3), 229-249.
- 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, 8 (3), 229-249.
- HEWSON, P. W. (1985) *Epistemological commitments in the learning of science: examples from dynamics.* European Journal of Science Education, 7, 163-172.
- HEWSON, P. D. (1990) *La enseñanza de «fuerza y movimiento» como cambio conceptual.* Enseñanza de las Ciencias, 8 (2), 157-171.
- HEWSON, M. G. y HEWSON, P. W. (1984) *Effect of instruction using students prior knowledge and conceptual strategies on science learning.* European Journal of Science Education, 6 (1), 1-6.
- HEWSON, P. W. y HEWSON, M. G. (1988) *On appropriate conception of teaching science: a view from studies of science learning.* Science Education, 72 (5), 597-614.
- HEWSON, P. W. y THORLEY, N. R. (1989) *The conditions of conceptual change.* International Journal Science Education. Vol 11, special issue, 541-553.
- HICKS, K. y STONE, W. (1986) *New cross curricular development in science and drama.* The School Science Review, 68 (243), 322-324.
- HIERREZUELO, J. et al (1988) *Aprendizaje en Física y Química: Programas guía de actividades para los alumnos y programas guía para el profesor.* (Elzevir: Velez Málaga. Málaga).
- HIERREZUELO, J. et al (1989) *La ciencia de los alumnos: su utilización en la didáctica de la Física y Química.* (Ed Laia MEC. Colección Cuadernos de Pedagogía).
- HODSON, D. (1985) *Philosophy of science, science and science education.* Studies in Science Education, 12, 25-57.
- HODSON, D. (1987) *Social control as a factor in science curriculum change.* International Journal of Science Education, 9 (5), 529-540.
- HODSON, D. (1988) *Towards a philosophically more valid science curriculum.* Science Education, 72 (1), 19-40.

- HOLTON, G. y ROLLER, D. (1963) *Fundamentos de la Física Moderna*. (Reverté: Barcelona).
- HOLTON, G., RUTHERFORD, F. J. y WATSON, F. G. (1982) *Project Physics* (Holt-Rinehart-Winston: New York).
- HOYAT, F. (1962) *Les Examens*. (Institut de l'UNESCO pour l'Education. Ed Bourrellier: París).
- JAMES, R. K. y SMITH, S. (1985) *Alienation of students from science in grades 4-12*. *Science Education*, 69, pp 39-45.
- JANSWEIGER, W. et al (1987) *Modelling the genuine beginner; on the multiplicaty of learning to solve problems*, Early Conference Tullingen.
- JIMÉNEZ, M. P. (1987) *Preconceptos y esquemas conceptuales en Biología*, *Enseñanza de las Ciencias*, 5 (2), 165-167.
- JIMÉNEZ, M. P. (1989) *Los esquemas conceptuales sobre la selección natural: análisis y propuestas para un cambio conceptual*. Tesis Doctoral. Universidad Complutense de Madrid.
- JIMÉNEZ, M. P. y OTERO, L. (1990) *La ciencia como construcción social*. *Cuadernos de Pedagogía*, 180, 20-22.
- KAMII, C. y DEVRIES, R. (1983) *El conocimiento físico en la educación preescolar. Implicaciones de la Teoría de Piaget*. (Siglo XXI: Madrid).
- KAMINSKI y VIENNOT, L. (1989) *Optique elementaire. Taller desarrollado en el III Congreso Internacional sobre La Didáctica de las Ciencias y de las Matemáticas*. *Enseñanza de las Ciencias*, número extra, tomo 2, p 230.
- KRASILCHIK, M. (1979) *Biology teaching in Brazil: a case of curricular transformation*. *Journal of Biological Education*, 13 (4), 311-314.
- KRULIK, S. y RUDNICK, K. (1980) *Problem solving in school mathematics*. National council of teachers of mathematics; Year Book. Reston: Virginia.
- KUHN, TH. S. (1971) *La estructura de las revoluciones científicas*. (Fondo de cultura económica: México).
- LA PENSEE, C. W. (1981) *Teacher training and the pupil oriented lesson in West Germany*. *Journal of Chemical Education*, 1 (2), 191-203.
- LAKATOS, I. (1982) *Historia de la ciencia y sus reconstrucciones racionales*. (Tecnos: Madrid).
- LANGEVIN, P. (1926) *La valeur éducative de l'histoire des sciences*. *Bulletin de la Societé Francaise de Pedagogie*, 22. Diciembre de 1926.
- LARKIN, J. H. y REIF, F. (1979) *Understanding and teaching problem solving in Physics*. *European Journal of Science Education*, 1 (2), 191-203.
- LINN, M. C. (1987) *Establishing a research base for science education:*

- challenges, trends and recommendations*. Journal of Research in Science Teaching, 24 (3), 191-216.
- LLORENS, J. A. (1987) *Propuesta y aplicación de una metodología para el análisis de la adquisición de conceptos en la introducción a la teoría atómico-molecular: percepción de los hechos experimentales, sus representaciones y el uso del lenguaje en alumnos de formación profesional y bachillerato*. Tesis Doctoral. Universitat de València.
- LLORENS, J. A., DE JAIME, M.^a C. y LLOPIS, R. (1989) *La función del lenguaje en un enfoque constructivista del aprendizaje de las ciencias*. Enseñanza de las Ciencias, 7 (2), 111-119.
- LÓPEZ, N., LLOPIS, R., LLORENS, J. A., SALINAS, B. y SOLER, J. (1983) *Análisis de dos modelos evaluativos referidos a la Química de COU y Selectividad*. Enseñanza de las Ciencias, 1 (1), 21-25.
- LUCAS, A. M. (1986) *Tendencias en la investigación sobre la enseñanza-aprendizaje de la Biología*. Enseñanza de las Ciencias, 4 (3), 189-198.
- LUCAS, A. M. y GARCÍA-RODEJA, I. (1990) *Contra las interpretaciones simplistas de los resultados de los experimentos realizados en el aula*. Enseñanza de las Ciencias, 8 (1), 11-16.
- M.E.C, 1989. Diseño Curricular Base. Educación Secundaria Obligatoria. (Ed M.E.C.: Madrid)
- MACEDO, B. y SOUSSAN, G. (1985) *Estudio de los conocimientos preadquiridos sobre las nociones de calor y temperatura en alumnos de 11 a 15 años*, Enseñanza de las Ciencias, 3 (2), 83-91.
- MARTINAND, J. L. (1985) *Connaitre et transformer la matière*. (Ed Peter Lang SA: Berna).
- MARTÍNEZ TORREGROSA, J. (1987) *La resolución de problemas de Física como investigación: un instrumento de cambio metodológico*. Tesis doctoral. Facultad de Físicas. Universidad de Valencia.
- MATTHEWS, M. R. (1990) *History, Philosophy and Science Teaching: A Rapprochement*. Studies in Science Education, 18, 25-51.
- MAXWELL, J. C. (1952) *Matter and motion*. (Dover: New York).
- MCDERMOTT, L. C. (1984) *Research on conceptual understanding in mechanics*. Physics Today, Julio, 24-34.
- MCDERMOTT, L. C. (1990) *A perspective on teacher preparation in physics - other sciences: the need for special science courses for teachers*. American Journal of Physics, 58 (8), 734-742.
- MCCLELLAND, J. A. G. (1984) *Alternative frameworks; Interpretation of Evidence*. European Journal of Science Education, 6, 1-6.
- MCDERMOTT, L. C., ROSENQUIST, M. L. y EMILY, H. (1987) *Student difficulties in connecting graphs and Physics: Examples from Kinematics*. American Journal Physics, 55 (6), 503-513.
- MCDONALD, J. B. (1975) *Curriculum and human interest, en Curri-*

- culum theorizing: the reconceptualist*, editado por Pinar Um (McCutchman Publishing Corp: Berkeley, USA).
- MILLAR, R. y DRIVER, R. (1987) *Beyond processes*. Studies in Science Education, 14, 33-62.
- MINISTRELL, J. (1982) *Explaining the «at rest» condition of an object*, Physics Teacher, 20, 10-14.
- MOREIRA, M. A. y NOVAK, D. P. (1988) *Investigación en enseñanza de las ciencias en la universidad de Cornell: esquemas teóricos, cuestiones centrales y abordos metodológicos*. Enseñanza de las Ciencias, 6 (1), 3-18.
- MORENO, M. (1986) *Ciencia y construcción del pensamiento*. Enseñanza de las Ciencias, 4 (1), 57-64.
- MORENO, R. (1987) *La conducta exploratoria e investigación en el niño*. Investigación en la Escuela, 1.
- NAVARRO, V. (1983) *La Historia de las ciencias y la enseñanza*. Enseñanza de las Ciencias, 1 (1), 50-53.
- NIEDA, J. (1990) *El Diseño Curricular Base*. Cuadernos de Pedagogía, 180, 8-11.
- NOVAK, D. J. (1982) *Teoría y Práctica de la Educación*. Alianza Universidad.
- NOVAK, J. D. (1988) *Constructivismo humano: un consenso emergente*. Enseñanza de las Ciencias, 6 (3), 213-223.
- NOVAK y GOWIN (1989) *Aprender a aprender*. Martínez Roca.
- OSBORNE, R. y WITTRICK, M. (1983) *Learning Science: a generative process*. Science Education, 67, pp 490-508.
- OTERO, J. (1985) *Assimilation problems in traditional representation of scientific knowledge*. European Journal of Science Education, 7 (4), 361-369.
- OTERO, J. (1989) *La producción y la comprensión de la ciencia: la elaboración en el aprendizaje de la ciencia escolar*. Enseñanza de las Ciencias, 7 (3), 223-228.
- PARLETT y HAMILTON, D. (1976) «*Illuminative evaluation*» en P. Reason y J. Rowan, *Human Inquiry: A coursebook of New Paradigm Research*, London Willey .
- PAYA, J. (1990) *Los trabajos prácticos de Física y Química: una revisión bibliográfica*. Enseñanza de las Ciencias, 8 (2), 181-185.
- PENICK, J. E. y YAGER, R. E. (1986) *Trends in science education: some observations of exemplary programs in the United States*. European Journal of Science Education, 8 (1), 1-9.
- PETERSON, R. W. (1979) *The impact of pone paradigm-based research on classroom Practice*. Journal of Research in Science Teaching, 16, 523.
- PIAGET, J. (1969) *Psicología y Pedagogía*. (Ariel: Barcelona).
- PIAGET, J. (1970) *La epistemología genética*. (Redondo: Barcelona).

- PIAGET, J. (1971) *Psicología y Epistemología*. (Ariel: Barcelona).
- POLO F y LÓPEZ, J. A. (1987) *Los científicos y sus actitudes políticas ante los problemas de nuestro tiempo*. Enseñanza de las Ciencias, 5 (2), 149-156.
- POLYA, G. (1975) *How to solve it?* (Princeton University Press: New York).
- POLYA, G. (1980) *On solving mathematical problems in high school*. In S. Krulik and R. E. Keys editors. Problem solving in school mathematics. Virginia.
- POPE, M. L. y GILBERT, J. (1983) *Personal experience and the construction of knowledge in science*. Science Education, 67, 193-203.
- POPE, M. L. y KEEN, T. R. (1981) *Personal construct psychology and education*. (Academic Press: Londres).
- POPPER, K. R. (1962) *La lógica de la investigación científica*. (Tecnos: Madrid).
- PORLAN, R. (1987) *El maestro como investigador en el aula. Investigar para conocer, conocer para enseñar*. Investigación en la Escuela, 1, 63-70.
- POSNER, G. J. et al (1982) *Accommodation of a scientific conception: towards a theory of conceptual change*. Science Education, 66, 211-227.
- POZO, J. I. (1987) *Aprendizaje de la ciencia y pensamiento causal*. (Visor: Madrid).
- POZO, J. I. (1989) *Teorías cognitivas del aprendizaje*. (Morata: Madrid).
- PREECE, P. F. (1984) *Intuitive Science: Learned or Triggered?* European Journal of Science Education, 6 (1), 7-10.
- PRENDERGAST, W. F. (1986) *Terminology of problem solving*. Problem solving News Letter, 8 (2), 1-7.
- RAMÍREZ, L. (1990) *La resolución de problemas de Física y Química como investigación en la enseñanza media, un instrumento de cambio metodológico*. Facultad de Ciencias Químicas. Universidad Autónoma de Barcelona.
- REIF, F. (1983) *Teaching problem-solving. A scientific approach*. The Physics Teacher, Mayo, 310-316.
- RESNICK, L. B. (1983) *Mathematics and Science Learning: a new conception*. Science, 220, 477-478.
- REYES, V. y FURIO, C. (1988) *Opinión de los profesores sobre las causas de fracaso escolar en la resolución de problemas de Química*. III Jornadas para la Renovación Metodológica de los EE.MM. y C.S. (ICE Universidad País Vasco: Bilbao).
- RIDGEN, J. S. (1985) *Why do we obstruct knowledge of science?* American Journal of Physics, 53, p 205.
- RISLEY J. y REDISH E. (1989) *Proceedings of the conference on com-*

- puters in physics instruction.* (Addison - Wesley: New York).
- RIVAS, M. (1986) *Factores de eficacia esolar: una línea de investigación didáctica.* Bordón, 264, 693-708.
- ROSENTHAL, D. B. (1989) *Two approaches to Science Technology - Society (S-T-S) Education.* Science Education, 73 (5), 581-589.
- ROSENTHAL, R. y JACOBSON, L. (1968) *Pigmalion in the classroom.* (Rineheart and Winston: New Jersey).
- SALTIEL, E. y VIENNOT, L. (1985) *¿Qué aprendemos de las semejanzas entre las ideas históricas y el razonamiento espontáneo de los estudiantes?* Enseñanza de las Ciencias, 3 (2), 137-144.
- SAN VALERO, C. (1990) *Las propuestas de la comunidades Autónomas.* Cuadernos de Pedagogía, 180, 16-19.
- SANMARTÍ, N. (1989) *Estudio sobre las dificultades de los estudiantes en la comprensión de la diferenciación entre los conceptos de mezcla y de compuesto.* Tesis Doctoral. Lleida. Facultat de Ciències Químiques de la Universitat Autònoma de Barcelona.
- SANMARTÍ, N., MAURI, T., IZQUIERDO, M. y GÓMEZ, I. (1990) *Los procedimientos.* Cuadernos de Pedagogía, 180, 28-32.
- SATTERLY, D. y SWAMM, N. (1988) Enseñanza de las Ciencias, 6 (3), 278-284.
- SCHIBECI, R. A. (1984) *Attitudes to science: an update.* Studies in Science Education, vol 11, 26-59.
- SCHIBECI, R. A. (1986) *Images of science and scientists and science education.* Science Education, 70 (2), 139-149.
- SEBASTIA, J. M. (1984) *Fuerza y movimiento: la interpretación de los estudiantes.* Enseñanza de las Ciencias, 2 (3), 161-169.
- SERRANO, T. (1987) *Representaciones de los alumnos en Biología: estado de la cuestión y problemas para su investigación en el aula.* Enseñanza de las Ciencias, 5 (3), 181-188.
- SEXL, R. V. (1981) *Some observations concerning the teaching of the energy concept.* European Journal of Science Education, 3 (3), 175.
- SHAYER, M. y ADEY, P. (1984) *La ciencia de enseñar ciencia.* (Narcea: Madrid).
- SHUELL, T. J. (1987) *Cognitive psychology and conceptual change: implications for teaching science.* Science Education, 71 (2), 239-250.
- SHIPSTONE, D. (1984) *A study of children's understanding of electricity in simple D,C, circuits.* European Journal of Science Education, 6 (2), 185-198.
- SIERES, J. y GARCÍA-GÓMEZ, J. (1985) *Una visión diacrónica del medio.* Enseñanza de las Ciencias, número extra, 29.
- SIMPSON y OLIVER (1990) *A summary of major influences on attitude toward and achievement in science among adolescent students.* Science Education, 74 (1), 1-18.
- SOLBES, J. (1986) *La introducción de los conceptos básicos de física mo-*

- derma. Tesis doctoral. Facultad de Ciencias Físicas de la Universidad de Valencia.
- SOLBES, J. y VILCHES, A. (1989) *Interacciones C/T/S: un instrumento de cambio actitudinal*. Enseñanza de las Ciencias, 7 (1), 14-20.
- SOLOMON, J. (1987) *Social influences on the construction of pupils' understanding of science*. Studies in Science Education, 14, 63-82.
- SOLOMON, J. (1990) *The discussion of social issues in the science classroom*. Studies in Science Education, 18, 105-126.
- SPEARS, M. G. (1984) *Sex bias in science teachers' ratings of work and pupils characteristics*. European Journal of Science Education, vol 6, 369-377.
- STENHOUSE, L. (1975) *An introduction to curriculum research and development* (Heinemann: London). (Existe versión en castellano en Morata: Madrid.)
- TALL, G. (1981) *British Science Curriculum Projects. How have they taken root in schools?* European Journal of Science Education, 3, 17-36.
- TIBERGHIE, A. (1983) *La investigación en un laboratorio de didáctica de las ciencias físicas*. Enseñanza de las Ciencias, 1 (3), 187-192.
- TIBERGHIE, A. (1985) *Quelques éléments sur l'évolution de la recherche en didactique de la physique*, Revue Française de Pédagogie, 72, 71-86.
- TOBIN, K. (1986) *Secondary science laboratory activities*. European Journal of Science Education, 8 (2), 199-211.
- TOBIN, K. y ESPINET, M. (1989) *Impediments to change: applications of coaching in high school science teaching*. Journal of Research in Science Teaching, 26 (2), 105-120.
- TONUCCI, F. (1976) *La escuela como investigación*. (Avance: Barcelona).
- TOULMIN, S. (1977) *La comprensión humana. I: el uso colectivo y la evolución de los conceptos* (Alianza: Madrid).
- VARELA, P. et al (1989) *Selección bibliográfica sobre esquemas alternativos de los estudiantes en electricidad*. Enseñanza de las Ciencias 7 (3), 292-295.
- VIENNOT, L. (1976) *Le Raisonnement Spontané en Dynamique Élémentaire*. Tesis doctoral. Université Paris 7. (Publicada en 1979 por Herman: París.)
- VIENNOT, L. (1979) *Spontaneous reasoning in elementary dynamics*. European Journal of Science Education, 1 (2), 205-221.
- VIENNOT, L. (1989) *L'enseignement des sciences physiques objet de recherche*. Bulletin de l'Union des Physiciens, 716, 899-910.
- VIGOTSKY, L. S. (1973) *Aprendizaje y desarrollo intelectual en la edad escolar*. Psicología y Pedagogía (Akal: Madrid).

- WARREN, W. J. (1982) *The nature of energy*. European Journal of Science Education, 4 (3), 295-297.
- WELCH, W. (1985) *Research in science education: review and recommendations*. Science Education, 69, 421-448.
- WHITAKER, R. J. (1983) *Aristotle is not dead: student understanding of trajectory motion*. American Journal of Physics, 51, 352-357.
- WHITE, T. R. y GUNSTONE, F. R. (1989) *Metalearning and conceptual change*. International Journal Science Education, vol 11, 577-586.
- 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, 463-459.
- YAGER, R. E. y PENICK, J. E. (1986) *Perception of four groups towards science classes, teachers and value of science*. Science Education, 70 (4), 335-363.
- ZALAMEA GODOY, E. y PARIS ESPINOSA, R. (1989) *¿Saben los maestros la física que enseñan?* Enseñanza de las Ciencias, 7 (3), 251-256.