

Estructura y didáctica de las Ciencias

Elías Fernández Uría



BREVIARIOS DE EDUCACION

**ESTRUCTURA Y DIDACTICA
DE LAS CIENCIAS**

ELIAS FERNANDEZ URIA

Catedrático de Bachillerato

Profesor del ICE de Zaragoza

ESTRUCTURA Y
DIDACTICA
DE LAS CIENCIAS

MINISTERIO DE EDUCACION
INSTITUTO NACIONAL DE CIENCIAS DE LA EDUCACION
MADRID, 1979

© Servicio de Publicaciones del Ministerio
de Educación, 1979

Edita: Servicio de Publicaciones del Ministerio de Educación

Imprime: RIVADENEYRA, S. A.
P.º Onésimo Redondo, 28 - MADRID-8

Depósito legal: M. 15.135-1979

I.S.B.N.: 84-369-0686-1

Printed in Spain - Impreso en España

INDICE DE CONTENIDOS

	<u>Págs.</u>
Introducción	9
I. Objetivos de la enseñanza científica	11
II. La naturaleza de la Ciencia y sus implicaciones didácticas	43
III. Ciencia, Tecnología y Sociedad	79
IV. Aspectos interdisciplinarios	113
V. La Psicología y el aprendizaje de las Ciencias. Piaget y la Didáctica elemental	133
VI. Metodología inductivo-deductiva	175
VII. Material didáctico y laboratorio escolar	205
VIII. Los métodos histórico-didácticos	233
IX. Programación y construcción del currículum .	253
X. La evaluación de los aprendizajes	285
XI. Pasado, presente y futuro de la educación cientí- fica	317
XII. Análisis de algunos proyectos didácticos	343
XIII. Fuentes documentales y bibliográficas	367

INTRODUCCION

Este libro va dirigido al profesorado de las áreas científicas (Física, Química, Ciencias Naturales) en la EGB y el BUP. Pretende analizar los diferentes aspectos que se integran en el proceso de la enseñanza de las Ciencias: desde el planteamiento de objetivos al diseño de enfoques metodológicos y de vías de evaluación.

Dada la amplia variedad de los temas considerados, no hemos podido tratar ninguno de ellos de forma totalmente exhaustiva. No es éste el objetivo que nos ha guiado; no obstante, pretendemos que el libro sirva de pauta inicial, así como de motivación para un estudio ulterior personal y profundo. La bibliografía incluida al final de cada capítulo, así como la recopilada en las últimas páginas, permite ampliar cualquiera de los puntos abordados.

Hemos incluido asimismo un amplio conjunto de cuestiones de autoevaluación. Todas ellas tienen un carácter abierto y reflexivo, de acuerdo con la naturaleza del material analizado. La realización de estas cuestiones permitirá al lector apreciar la comprensión de los conceptos y métodos vertidos en el libro, así como descubrir posibles vías de aplicación a su actividad profesional.

Pretendemos cubrir una amplia laguna existente en la bibliografía de la Didáctica de las Ciencias, especialmente en lengua castellana. Normalmente, la mayoría de los libros se centran en aspectos más concretos, descuidando otros también de interés. Además, echamos en falta un carácter más reflexivo y crítico, en lo que al proceso didáctico se refiere. En las líneas de amplitud y de análisis crítico hemos intentado movernos a lo largo de todo el trabajo. Pero, simultáneamente, procurando no descuidar los aspectos aplicativos, que son, a fin de cuentas, los que pueden enriquecer la labor docente de forma fecunda y constante.

Aunque este libro fue redactado hace unos tres años, hemos mantenido la forma original, así como las referencias bibliográficas incluidas.

I. OBJETIVOS DE LA ENSEÑANZA CIENTIFICA

1.1. LOS FINES DE LA EDUCACION CIENTIFICA

En numerosas ocasiones se ha expresado la necesidad de delimitar con claridad los objetivos o metas a cubrir a lo largo de todo proceso educativo. La enseñanza de las Ciencias, en cualquiera de los niveles en que tenga lugar, no debiera quedar al margen de este esfuerzo universal por analizar y planificar coherentemente las estructuras educacionales de que dispone todo país moderno.

Las distintas filosofías y planteamientos pedagógicos se han centrado con frecuencia en dos amplios campos de necesidades: las necesidades individuales de formación (las cuales podríamos englobar dentro de los *aspectos personales* del proceso educativo), y las necesidades de la sociedad de la cual forman parte los discentes o *aspectos sociales*. Ambos aspectos se complementan y enriquecen mutuamente, y cada vez tienen menos sentido los enfoques dirigidos exclusivamente hacia uno de ellos.

Los hallazgos de la Psicología Social (1) nos pueden ayudar a comprender las influencias que la sociedad ejerce sobre los distintos planos de la personalidad, la afectividad, la inteligencia, etc., de sus miembros. Las distintas sociedades, a su vez, son el fruto de la acción e interacción de sus componentes individuales. No se puede pretender, por consiguiente, centrar el esfuerzo educativo sobre un hipotético individuo aislado, con unas necesidades aparentemente disociadas de las de los distintos grupos sociales de los que forma o va a formar parte.

Por otro lado, y sin tender hacia un desmesurado individualismo, conviene tener en cuenta el conjunto de característi-

cas, intereses y actitudes que presenta cada persona, y respetarlo en lo posible. Dos de las direcciones en las que se ha movido la psicología a lo largo del presente siglo (el psicoanálisis y la psicología conductista) han interpretado las líneas fundamentales de la conducta humana a partir de causas o factores dimanantes del interior de la persona (el psicoanálisis), o del exterior de la misma (estímulos y refuerzos del conductismo o behaviorismo). La psicología humanística, que ha sido considerada como una «tercera fuerza» (2), pretende sintetizar o armonizar ambas vertientes y lograr una visión más global y armonizada de la persona. Paralelamente a estas líneas psicológicas se han fraguado diferentes enfoques pedagógicos, centrados sobre todo en los factores personales del alumno, o en las condiciones exteriores y estímulos del aprendizaje (3). Con frecuencia los enfoques de tipo social en el campo educativo han estado aliados a las filosofías conductistas, pero no ha sido siempre éste el caso. Algunas líneas de pensamiento dentro de la pedagogía socialista ilustran con claridad este último punto (3 bis). La pedagogía humanística tiene, en general, unas metas de naturaleza ampliamente social y, sin embargo, se centra con intensidad en los factores personales y la naturaleza propia de cada individuo. En la línea humanística de *armonizar lo individual con lo social* se mueven los argumentos expresados en gran parte de este libro.

De entre todas las actividades humanas, la actividad científica es una de las que más fuertemente ha contribuido a modelar el pensamiento humano. Las ciencias aplicadas, así como las distintas tecnologías, han influido también de forma poderosa sobre el desarrollo económico y social del mundo en que vivimos. No tiene nada de extraño, por consiguiente, que haya crecido en importancia la enseñanza de las ciencias en los distintos niveles educativos, y que las disciplinas de contenido científico hayan venido a ocupar un papel fundamental en los currícula de la enseñanza básica, la media y la técnico-profesional.

Las justificaciones que se han ofrecido para la inclusión de este tipo de disciplinas en los niveles básicos y medios se han centrado con demasiada frecuencia en los aspectos sociales del

aprendizaje: la sociedad moderna se fundamenta en gran medida sobre una amplia y compleja estructura tecnológica y, puesto que las actividades técnicas se nutren de conceptos y conocimientos de orden científico, interesa introducir el aprendizaje de los mismos incluso en los niveles más elementales del currículum escolar. Por otra parte, existen aspectos en la educación científica (como son el desarrollo de actitudes positivas, de destrezas del pensamiento y de habilidades de interpretación de fenómenos naturales) que discurren en la línea del desarrollo personal del alumno y que tienen suficiente validez por sí mismos para justificar su inclusión en los diferentes niveles educacionales.

Las vertientes «personales» y «sociales» del aprendizaje tienen, por lo tanto, un reflejo importante en el campo de la didáctica de las ciencias. Seguidamente analizamos con más detalle las particulares características de diferentes objetivos, las cuales desarrollamos ampliamente a lo largo de esta obra.

1.2. ASPECTOS PERSONALES Y SOCIALES EN LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS

Las variaciones y fluctuaciones en distintos países de los objetivos que se prevé cubrir con la enseñanza de las ciencias han reflejado generalmente los cambios acaecidos en el panorama educativo global. Dicho con otras palabras, las filosofías y planteamientos pedagógicos impuestos en un determinado momento inciden de forma notable sobre la estructuración de las didácticas especiales de las diferentes áreas educativas.

Puesto que las metas a las que se da un carácter prioritario en los sistemas escolares están muy relacionadas con la problemática y la situación socio-política de un determinado país, y en un momento histórico concreto, no debe extrañarnos que estos últimos factores tengan repercusiones notables sobre el campo de la enseñanza científica. En un estudio reciente sobre la enseñanza de la Química en el ciclo secundario en los Estados Unidos (4), por ejemplo, se ha puesto de manifiesto la existencia de marcadas influencias de factores de orden social

y político. De acuerdo con el autor de este estudio, «la educación con fines de reforma social, la depresión, la Segunda Guerra Mundial, la guerra fría, la educación con finalidad de ajuste personal, la carrera espacial, los derechos civiles, la nueva izquierda, y el movimiento juvenil de los años sesenta han sido factores que han influido sobre el proceso educativo a lo largo de los años 1918-1972» (período sobre el cual se ha centrado este estudio). Un hecho significativo hallado ha sido que «así como antes de la Segunda Guerra Mundial la química se enseñaba con un énfasis primario sobre los objetivos *cognoscitivos*, los años siguientes a dicho conflicto bélico han reflejado una mayor preocupación por los resultados relacionados con los *procesos, actitudes, intereses y la conciencia cultural*».

En el capítulo 11.º analizamos en amplitud la evolución histórica de los objetivos de la enseñanza científica, en los niveles secundarios, en diferentes países y a él remitimos al lector interesado en este aspecto concreto. En este apartado nos limitaremos a dar una visión general de distintas fuentes de objetivos (en los aspectos de desarrollo social y personal) que pueda servir de pauta y directriz básica para la posterior lectura del libro.

A un nivel de desarrollo personal, los objetivos se centran fundamentalmente en las siguientes áreas:

1. Educación de *hábitos de pensamiento*. Una estructuración coherente de la enseñanza de las ciencias puede contribuir de forma valiosa al desarrollo mental de los alumnos. Se ha demostrado que dicha enseñanza, por sus componentes fundamentadas en procesos de resolución de problemas, puede llegar a ser una fuente importante de maduración y desarrollo intelectual. Como es lógico, y con objeto de cubrir este aspecto, conviene moverse cada vez más desde la enseñanza memorística hacia el razonamiento y el trabajo intelectual, aun sacrificando parte de los contenidos. Este punto es analizado en el capítulo 4.º (en lo que se refiere a las relaciones de las ciencias con las matemáticas); en el 5.º, donde se estudian las implicaciones didácticas de la psicología del aprendizaje y se analiza el panorama de la enseñanza elemental de las ciencias; en el

6.º, donde se discuten las ventajas de los métodos deductivos e inductivos, en el 7.º (material didáctico), y en el 10.º (evaluación de los aprendizajes).

2. Desarrollo de *actitudes científicas*. Así como el objetivo formal anterior se centra en el plano cognoscitivo o intelectual, este otro se dirige al plano afectivo. Incluso en relación con personas que no se van a dedicar profesionalmente a actividades tecnológicas o directamente asociadas con las ciencias, se ha planteado en numerosas ocasiones la necesidad de desarrollar un conjunto de actitudes científicas y analíticas que modulen su comportamiento social. Aquí, como en el punto anterior, interesa estudiar con detalle el problema del «transfer» o *transferencia formativa* a campos distintos de los puramente escolares. En este mismo capítulo, así como en los 3.º, 4.º y 6.º, se inicia el análisis de este aspecto.

3. *Vertientes culturales* del aprendizaje de las ciencias. Las ciencias de la naturaleza (Física, Química, Ciencias Naturales) no solamente tienen un gran valor social y económico por sus interrelaciones con la tecnología, sino que encierran en sí mismas un elevado valor cultural. La comprensión del mundo natural y técnico en que estamos inmersos, el estudio de la influencia de descubrimientos e interpretaciones científicas sobre el pensamiento y la filosofía en diferentes épocas, etcétera, deberían formar parte del acervo cultural de toda persona educada. Estos valores «humanísticos» del aprendizaje científico se discuten en el capítulo 2.º (que incluye el estudio de la estructura y naturaleza de la ciencia), en el 3.º (ciencia-tecnología-sociedad), en el 4.º, el 8.º (historia de la ciencia y métodos histórico-didácticos), el 11.º (análisis comparado e historia de la educación científica) y el 12.º (discusión de varios proyectos contemporáneos).

A un nivel de necesidades u objetivos sociales de la educación, cabe tomar en consideración los dos aspectos siguientes:

4. *Valores aplicativos y tecnológicos* del aprendizaje de las ciencias. Las ciencias suministran un conocimiento de los pro-

cesos naturales de indudable valor para muchas aplicaciones concretas. Aunque en un principio las ciencias y las tecnologías nacieron y se desarrollaron con bastante independencia, se aprecia una creciente interrelación entre ambas, lo que ha llevado a bautizar la situación actual de «revolución científico-técnica». Todo país moderno necesita disponer de los convenientes resortes formativos que hagan posible el desarrollo y mantenimiento de un aceptable nivel tecnológico, y la enseñanza de las ciencias es un aspecto básico en esta línea. En los capítulos 3.º, 4.º, 6.º, 7.º, 9.º (programación y construcción del currículum), 11.º y 12.º se analizan detalles específicos en relación con este punto.

5. *Interdisciplinaridad* creciente en las actividades profesionales. La sociedad contemporánea se apoya sobre una base amplia y compleja de estructuras, métodos y sistemas tecnológicos, como recordamos anteriormente. Las diferentes actividades industriales tienden a configurar cada vez con más fuerza las formas de vida en la sociedad actual, y es difícil comprender éstas sin una concepción adecuada de sus factores básicos. Hoy en día sociólogos, urbanistas, abogados, etc., deben estar preparados para trabajar y colaborar con científicos y tecnólogos y los sistemas educacionales deben contribuir a facilitar esta comunicación de creciente importancia. En los capítulos 3.º, 4.º, 6.º, 9.º, 11.º y 12.º se toca brevemente este problema.

Por supuesto, las necesidades e intereses particulares de los alumnos también deberían ser tomadas en consideración, como se hace en diversos lugares del libro. Por otra parte, aunque se deben tener presentes los cinco aspectos anteriormente citados en todo momento, los objetivos de la educación científica son lógicamente diferentes en la enseñanza elemental, en la enseñanza secundaria o media (tanto en la segunda etapa de la educación básica como en el bachillerato), en la enseñanza técnico-profesional y en la enseñanza universitaria (sea ésta de naturaleza científica, humanística o tecnológica). Este libro se centra fundamentalmente en los niveles elemental y medio, aunque gran parte de las ideas planteadas pueden ser de validez para los restantes.

El problema de la didáctica elemental se analiza principalmente en el capítulo 5.º, aunque en los 3.º, 4.º, 6.º, 7.º, 9.º, 11.º y 12.º se tocan también diversos aspectos relacionados con el mismo. La didáctica en los niveles secundarios (y sobre todo el bachillerato) se estudia en líneas generales a lo largo de la mayor parte del libro. En diferentes momentos se hace alusión explícita al caso de la enseñanza universitaria.

1.3. EL DESARROLLO DE ACTITUDES CIENTÍFICAS COMO FUENTE DE OBJETIVOS

La Comisión de Política Educativa, de la Asociación Nacional de Educación (N. E. A.) de los Estados Unidos, ha publicado un trabajo en el cual se analizan los valores y componentes actitudinales de una buena enseñanza de tipo científico (5). Según las conclusiones presentadas por dicha comisión, toda actividad investigadora, tanto en el caso de las ciencias de la naturaleza como de las ciencias sociales, refleja en lo fundamental los siete valores siguientes:

1. Deseo de conocer y comprender.
2. Escepticismo.
3. Búsqueda de datos y de sus significados.
4. Solicitud de verificación.
5. Respeto por la lógica.
6. Consideración de premisas.
7. Consideración de consecuencias.

Se recomienda en dicha publicación la búsqueda de enfoques didácticos que faciliten la adquisición de estas actitudes de tipo científico. Una fe extraordinaria en las posibilidades de transferencia de las mismas hacia otros campos y actividades se deja transparentar en la afirmación de que «estos valores son característicos no sólo de lo que se llama corrientemente Ciencia, sino también, y de forma más básica, del pensamiento racional, el cual se relaciona no solamente con la ciencia, sino también con todas las facetas de la vida».

Qué duda cabe que el desarrollo del espíritu crítico, tan buscado en muchos sistemas educativos actuales, debería ir paralelo al desarrollo del espíritu científico, reflejado en los siete valores anteriormente expuestos. Nada más alejado del dogmatismo que dicho espíritu, abierto a los procesos lógicos y de verificación y que refuta las afirmaciones contradichas por la experiencia analítica. Está claro, sin embargo, que una mala enseñanza, cargada de dogmatismo, no puede contribuir al desarrollo de este *espíritu críticocientífico*. Tanto las ciencias como las humanidades pueden enseñarse incurriendo en graves defectos didácticos, y no conviene pensar que la simple inclusión de materias de tipo científico en el currículum escolar va a solucionar el problema de la educación de hábitos y actitudes.

A la luz de un análisis inicial de la naturaleza de la Ciencia es posible reelaborar los siete valores antes planteados (6). El punto 3, por ejemplo, podría transmitir la idea errónea de que el investigador opera de forma fundamentalmente inductiva (de los hechos y observaciones a las interpretaciones y modelos). Nada más alejado de la realidad, puesto que los procedimientos deductivos, como veremos en otro lugar, son de importancia clave en el proceso. El experimentador no actúa en un vacío conceptual, sino que obtiene datos o planifica experimentos para refutar o confirmar hipótesis de trabajo previas. En el siguiente capítulo analizamos la existencia de un marco conceptual previo que condiciona y guía la labor investigadora, siendo más fácilmente aceptados los datos y observaciones que confirman este marco que los que contradicen el mismo.

La «solicitud de verificación», incluida en el punto 4, tiene validez solamente en la búsqueda de hechos que confirman hipótesis o teorías. En muchas ocasiones, el avance científico es más acusado en el descubrimiento de contradicciones que en el de confirmaciones (cfr. en este sentido la obra de Karl Popper *The Logic of Scientific Discovery*, traducida al castellano por Ed. Tecnos, en la colección «Estructura y Función»: Madrid, 1973).

Los puntos 6 y 7 reflejan dos de las componentes fundamentales de los procesos deductivos. Como es bien sabido,

existen dos facetas distintas en este tipo de procesos: por una parte se pueden deducir de forma lógica (de aquí el considerar premisas y consecuencias) modelos y teorías a partir de conceptos previos; por otra parte, se pueden extraer deductivamente, a partir de modelos determinados, consecuencias que deberán ser expuestas a una confirmación o una refutación empíricas.

Hechas las observaciones anteriores, el conjunto de valores y actitudes de tipo científico que pueden fomentarse a partir de un proceso didáctico bien organizado serían:

1. Desarrollo de la *curiosidad científica* (deseo de conocer y comprender).
2. Desarrollo del *escepticismo científico*.
3. Contrastación empírica de hipótesis e interpretaciones y juicios (*actitud crítica y no dogmática*).
4. Respeto por el razonamiento de tipo lógico.
5. Análisis de premisas y consecuencias (desarrollo de un *hábito de razonamiento* de tipo científico).

En la base de estos objetivos o sistemas de valores a conseguir yace una profunda fe en la validez de los métodos y actitudes científicos. En el capítulo 2.º matizamos de forma más precisa la naturaleza y carácter de la Ciencia, pero los puntos anteriormente expuestos pueden ayudar a reflexionar sobre sus aspectos dinámicos y no dogmáticos. Estos últimos contribuyen, en una educación bien estructurada, al desarrollo del espíritu crítico y reflexivo de los alumnos.

Sería de desear que las actitudes antes analizadas imbuyesen el pensamiento y la forma de actuar de toda persona, independientemente de su profesión o actividad social. Como tales actitudes, deberían sobrepasar el marco limitado de un conjunto de materias o disciplinas escolares, y empapar las distintas vertientes del comportamiento. Más adelante brindamos oportunidades adicionales para reflexionar en profundidad sobre este aspecto.

1.4. LOS OBJETIVOS COGNOSCITIVOS: LA TAXONOMIA DE BLOOM

Así como en el apartado anterior hemos analizado brevemente los objetivos de la enseñanza científica en el plano afectivo (actitudes y disposiciones o sistemas de valores), intentaremos hacer también un estudio de los objetivos de tipo cognoscitivo (conocimientos y destrezas mentales) que se pueden conseguir en este tipo de enseñanza. Como base de trabajo utilizamos la conocida Taxonomía de Objetivos de Bloom (7), que hemos adaptado al caso de las ciencias.

En todo proceso de programación-construcción del currículum, y de evaluación, interesa delimitar y definir de forma clara el conjunto de objetivos a cubrir (sea a lo largo del curso escolar, en una parte del mismo, en una determinada unidad didáctica, etc.). En esta línea, conviene tener presentes las siguientes observaciones apuntadas por Hedges (8):

a) Los objetivos deberían *identificarse con precisión*, y no de forma vaga y general.

b) La forma de expresar los objetivos debería *sugerir el método o métodos de evaluación de los mismos*. Es decir, conviene precisarlos en términos de aspectos medibles, o al menos observables, del comportamiento.

En el capítulo 10.º, al abordar el problema de la evaluación de los aprendizajes, ahondamos más sobre este último punto. En todo caso, conviene reflexionar brevemente sobre la naturaleza de la evaluación: se trata de *constatar el grado de consecución de unos objetivos previamente planteados, a fin de ser conscientes de la eficacia del proceso didáctico, y reformarlo como convenga*. De aquí la importancia de precisar de forma clara y no equívoca las características de los objetivos a conseguir.

Es importante asimismo, como argumentamos en el capítulo 9.º (programación-construcción del currículum), dotar de una *estructura* coherente al conjunto de los objetivos, es decir: precisar la importancia relativa de unos con respecto a otros, y establecer unos criterios de prioridad lógica y pedagógica (es necesario dominar los conceptos básicos antes de introducir

los complejos; interesa asimilar los aspectos que faciliten la consecución de objetivos ulteriores).

La taxonomía de Bloom puede resultar de valor inapreciable como instrumento en manos del educador. Como tal «taxonomía», supone una clasificación o estructuración que pretende ir desde lo simple hasta lo complejo, de las componentes intelectuales básicas o elementales a las operaciones compuestas o integradas. Comporta un vocabulario y una terminología que pueden facilitar la comunicación entre el profesorado y la discusión de problemas y enfoques didácticos (entre docentes de asignaturas iguales o similares, o bien en el caso de programaciones interdisciplinares).

Bloom hace una distinción clara entre los *conocimientos* y las *destrezas o habilidades intelectuales*. Como la palabra «conocimiento» puede resultar equívoca, nosotros utilizamos la expresión «conocimiento funcional». Con esta pequeña modificación, la taxonomía incluiría las siguientes componentes:

1. *Conocimiento funcional*

1. 1. Conocimientos específicos:
Conocimiento de la terminología.
Conocimiento de hechos específicos.
1. 2. Conocimiento de los modos y medios para trabajar con hechos específicos:
Conocimiento de las convenciones.
Conocimiento de tendencias y secuencias.
Conocimiento de clasificaciones y categorías.
Conocimiento de criterios.
Conocimiento de la metodología.
1. 3. Conocimiento de universales y abstracciones:
Conocimiento de principios y generalizaciones.
Conocimiento de teorías y estructuras.

2. *Comprensión*

2. 1. Traducción.
2. 2. Interpretación.
2. 3. Extrapolación.

3. *Aplicación*

4. *Análisis*

4. 1. Análisis de elementos.
4. 2. Análisis de relaciones.
4. 3. Análisis de principios organizadores.

5. *Síntesis*

5. 1. Producción de una comunicación única.
5. 2. Producción de un plan o conjunto propuesto de operaciones.
5. 3. Derivación de un conjunto de relaciones abstractas.

6. *Evaluación*

6. 1. En términos de evidencias internas.
6. 2. En términos de criterios externos.

Los puntos 2, 3, 4, 5 y 6 reflejan diversos aspectos del conjunto de destrezas o habilidades mentales. Es decir, lo que se denomina «razonamiento» puede descomponerse en un conjunto de operaciones mentales que se extiende desde las simples operaciones incluidas en el apartado de Comprensión, hasta las complejas incluidas en el de Evaluación. Estas operaciones se realizan a partir del universo de conocimientos funcionales recogidos en el punto 1. Dichos conocimientos no tienen sentido por sí mismos, sino en relación con las operaciones intelectuales que el alumno ha de ser capaz de realizar (en nuestro caso, de orden científico). La importancia de los conocimientos funcionales se podría sintetizar en las siguientes observaciones (9):

- En la medida en que aumenta la cantidad de conocimientos de una persona, aumenta su capacidad de relación con el mundo que le rodea.
- Los conocimientos previos constituyen las piezas clave con las que el alumno ha de operar, razones y ejercitar sus facultades.

- El caudal de conocimientos adquiridos se convierte, de esta forma, en material con el que trabajar en los procesos de resolución de problemas.
- Creer que un estudiante debe aprender ciertas nociones presupone la predicción de que será capaz de usarlos en un futuro inmediato.

En el apartado siguiente desarrollamos una taxonomía específica y adecuada para la didáctica de las ciencias, y aplazamos hasta entonces la definición de los diferentes niveles de la misma, así como el planteamiento de ejemplos que faciliten su comprensión y utilización. Es importante, antes de llegar a ese punto, reflexionar brevemente sobre la naturaleza profunda de la clasificación de Bloom, así como sobre la teoría psicológica que lleva implicada.

Los niveles de Bloom se supone que poseen una estructura jerárquica y acumulativa, que aumenta en complejidad desde el nivel más simple (conocimiento), pasando por los niveles de comprensión, aplicación, análisis y síntesis, para terminar finalmente en el más complejo: el de evaluación. Subyace en esta estructura la hipótesis de que una operación simple se puede integrar con otras de igual simplicidad para constituir una operación o comportamiento más complejo. Así, si se supone que el nivel de Conocimiento está constituido por operaciones cognitivas de tipo A, la Comprensión lo estará por las de tipo A y B, la Aplicación por las A, B y C, etc. De acuerdo con Bloom, los comportamientos más simples se pueden considerar como componentes de los comportamientos (operaciones) más complejos.

Esta estructura jerárquica se ha intentado comprobar experimentalmente, y son numerosos los trabajos realizados en este sentido. En una de dichas investigaciones, la de Madaus, et. al. (10), se utilizó un enfoque de tipo causal, con objeto de verificar el grado de correlación o dependencia de unos niveles taxonómicos respecto a los restantes. Caso de existir una verdadera jerarquía de niveles, debería localizarse relaciones directas entre niveles adyacentes y no se debería encontrar relaciones directas entre niveles no adyacentes. Sin entrar en deta-

lles sobre las características de esta investigación, indicaremos brevemente los resultados más significativos de la misma.

En líneas generales, no se descubrió una verdadera jerarquía, de acuerdo con las ideas de Bloom. Los seis niveles de la taxonomía dependen o están relacionados entre sí debido a la existencia de un factor intelectual común, al que Madaus denominó factor G. El lector que no esté familiarizado con el análisis factorial puede utilizar como símil el coeficiente de inteligencia o factor de inteligencia general, que «resume», «sintetiza», o «interviene en» los distintos niveles o aspectos intelectuales. Los seis niveles de Bloom, por consiguiente, tienen un factor o elemento en común.

Por otra parte, se descubrió una estructura jerárquica entre los cuatro primeros niveles (Conocimiento - Comprensión - Aplicación - Análisis), mientras que los dos últimos solamente resultaron relacionados con los anteriores, y entre sí mismos, a partir de factor G. Se localizó, igualmente, una relación directa entre Comprensión y Análisis, y entre Aplicación y Síntesis, lo cual tiende también a destruir la imagen jerárquica de la Taxonomía.

Parece ser, por lo tanto, que, tal como Bloom definió los seis niveles taxonómicos, no existe una verdadera escala entre ellos, sino que las interrelaciones y dependencias son múltiples. En todo caso, es importante plantear una estructura u organización dentro del conjunto de objetivos cognoscitivos, con objeto de perfilar de forma coherente la planificación de la enseñanza, así como los sistemas de evaluación.

1.5. LOS OBJETIVOS COGNOSCITIVOS EN LAS CIENCIAS

A partir del sistema de Bloom, vamos a definir una Taxonomía de objetivos para la enseñanza de las Ciencias, respetando en lo posible dicho sistema (11). Dividiremos esta taxonomía en dos áreas o campos perfectamente delimitados: por una parte, cabe considerar la que denominaremos Información Funcional Científica (conocimientos) y, por otra, las Habilidades y Procesos Mentales de carácter científico.

I. Información funcional científica (conocimientos funcionales)

(1.1) *Conocimiento de términos científicos.* Se entiende que el alumno ha alcanzado este objetivo cuando utiliza la terminología con corrección (utiliza el vocablo adecuado para referirse a un determinado concepto). Generalmente no tiene sentido evaluar este objetivo por separado, sino en relación con otros de rango superior. Lo mismo cabría decir de los restantes aspectos de la Información Funcional. Memorísticamente, un alumno puede saber que el ergio es la unidad de trabajo en el sistema c.g.s., y no tener una conceptualización clara del significado de dicha magnitud o del sentido de las unidades c.g.s.

(1.2) *Conocimiento de hechos y datos concretos.* Un *hecho científico* de acuerdo con Conant (12), contiene dos aspectos fundamentales: por una parte, debe ser directamente observable (utilizando instrumentos científicos normalmente) y, por otra, debe ser directamente demostrable, repetible o replicable. Se distingue claramente, por tanto, de los modelos e interpretaciones, como analizamos con más detalle en el siguiente capítulo. Es un hecho científico que el espectro solar contiene rayas que coinciden con las de absorción del helio. No sería un hecho científico, de acuerdo con Conant, que la atmósfera solar contiene helio, sino más bien una inferencia o deducción. El conjunto de datos y hechos que puede ser incluido en el currículum escolar es muy amplio, siendo los hechos científicos una parte del mismo. Comprende: nombres propios, fechas, descubrimientos experimentales, etc. Ejemplos: obtención por Hertz de ondas electromagnéticas a finales del siglo XIX; la atracción de cuerpos cargados eléctricamente; la hemólisis en disoluciones de baja concentración; el color amarillento del gas cloro, etc.

(1.3) *Conocimiento de símbolos y convenciones.* Los símbolos utilizados en las diferentes ramas de la ciencia son de importancia capital para la comunicación y el trabajo intelectual. En cierto modo, la terminología, o conjunto de nombres y denominaciones, tiene el carácter de conjunto simbólico (si

hacemos distinción entre los símbolos visuales y los verbales). Las convenciones son también ineludibles para expresar de forma inequívoca conceptos y magnitudes. Ejemplos: Na (sodio); \vec{a} (magnitud vectorial); 10^5 (100.000 o cien mil); g (aceleración de la gravedad), etc.

(1.4) *Conocimiento de procesos científicos, tendencias y secuencias.* Por tendencia o secuencia se entiende una disposición u orden de acontecimientos y hechos, en los que el factor tiempo juega un papel esencial. La separación entre hecho concreto y proceso o secuencia no es siempre completamente nítida o definida, aunque no tiene este aspecto demasiada importancia. La secuencia puede ser de orden histórico (evolución, a lo largo de distintas épocas, de un determinado concepto, por ejemplo). Algunos ejemplos podrían ser: las fases del proceso de la mitosis; aumento de la presión de un gas si aumenta la temperatura y se mantiene el volumen constante; movimiento acelerado en la caída libre de un cuerpo, con la velocidad creciendo proporcionalmente al tiempo transcurrido; evolución histórica del concepto de átomo (átomo de Leucipo, atomismo de Gassendi y Newton, átomo de Dalton, átomo de Thomson, átomo de Rutherford); desarrollo de una determinada reacción química.

(1.5) *Conocimiento de clasificaciones y categorías.* Los procesos de clasificación son fundamentales para el avance científico (pensemos en lo que han supuesto las clasificaciones taxonómicas de Linneo, las clasificaciones periódicas de Newlands, Mendeleev y Lothar Meyer, etc.). En numerosas ocasiones han precedido a la construcción de modelos y teorías, como analizamos en el siguiente capítulo. Ejemplos: clasificación de las cargas eléctricas en positivas y negativas; distinción entre fenómenos de tipo físico y de tipo químico; clasificación de un determinado mineral dentro de una tabla; distinción entre elementos alcalinos y alcalinotérreos; localización de una partícula elemental dentro de las distintas representaciones del Grupo SU-3.

(1.6) *Conocimiento de criterios y métodos científicos.* Conviene recordar una vez más que nos estamos refiriendo en estos párrafos a distintos tipos de conocimientos funcionales.

En el «conocimiento de métodos científicos» no incluimos la habilidad o capacidad mental de investigar o razonar científicamente, ni la manual de utilización de instrumentos de laboratorio, sino simplemente la información sobre métodos y modos de trabajo del investigador. Ejemplos: conocer los criterios de laboratorio para descubrir el carácter ácido o básico de una sustancia; conocer las diferencias entre un razonamiento de tipo inductivo y otro de tipo deductivo; saber cómo se representan valores obtenidos experimentalmente en una gráfica; conocer la naturaleza de los métodos gravimétricos en determinados tipos de prospecciones; saber definir los distintos pasos o etapas que conviene seguir para utilizar el microscopio.

(1.7) *Conocimiento de principios, generalizaciones y leyes científicas.* Forman parte de los aspectos que Bloom denomina universales y abstracciones. Como tales generalizaciones, engloban o sintetizan un conjunto de observaciones particulares y concretas. Tienen una importancia fundamental en los procesos del aprendizaje, puesto que los hechos concretos y aislados son difíciles de retener, mientras que se facilita esta retención mediante el descubrimiento de principios organizadores y sintetizadores. Conviene reflexionar de nuevo que aludimos en este caso al simple conocimiento de leyes y principios, sin tomar en consideración las capacidades de aplicación de los mismos, las cuales incluimos más adelante. Los conceptos desarrollados en la Ciencia (el concepto de célula, por poner un ejemplo) en muchos casos son generalizaciones extraídas de observaciones sistemáticas y metódicas. Las *leyes científicas* son generalizaciones más complejas y estructuradas, con un destacado matiz cuantitativo en muchos casos, y no solamente cualitativo. No conviene confundir las leyes con las teorías y modelos, aunque en ocasiones aquéllas se expresan o articulan a partir de modelos aceptados previamente. Una *ley* es, en lo fundamental, una generalización sintética de fenómenos y sucesos que ocurren de forma regular, y en ocasiones expresa el grado de interrelación entre distintas variables, facilitando de este modo la predicción de otros sucesos. Ejemplos: el principio de acción y reacción; el concepto de molécula-gramo; el

concepto de cromosoma; los conceptos de masa, fuerza, trabajo y potencia; la ley de Boyle-Mariotte; la ley de la refracción de Snell; las leyes de la herencia biológica.

(1.8) *Conocimiento de teorías, estructuras y modelos.* Las teorías y modelos desarrollados por la ciencia comportan una visión profunda del mundo físico y biológico. Se intenta, a través de los mismos, dar sentido al conjunto de leyes y observaciones empíricas mediante una serie de interpretaciones y estructuras abstractas. Es importante tener en consideración que los modelos y estructuras no son empíricamente observables, aunque esta afirmación se matiza en el capítulo siguiente. Son, en realidad, hipótesis con las cuales establecer bases comunes que ligen observaciones aparentemente no relacionadas. La teoría electrónica de los metales, por ejemplo, permite interpretar hechos tan diversos como la conducción, el calentamiento expresado por la ley de Joule, la emisión termoiónica, el brillo, la electrólisis, procesos electromagnéticos, etc.; la teoría estadística de los gases permite interpretar las leyes de los gases perfectos y de gran parte de los reales, las curvas de emisión del cuerpo negro (mediante la estadística cuántica), etcétera; el modelo o teoría atómica de capas permite reproducir rayas de emisión observadas espectroscópicamente, así como espectros de absorción; la teoría genética de Mendel permitió interpretar procesos de herencia y cruzamientos, etc. Generalmente, las teorías se integran en estructuras y modelos de gran diversidad, cuya naturaleza se discute en el siguiente capítulo.

2. Habilidades y procesos mentales de carácter científico.

(2.1) *Traducción e interpretación de comunicaciones simbólico-verbales.* La traducción supone la habilidad de describir en términos distintos una determinada idea que se ha comunicado. Interpretar equivale a identificar y comprender las ideas principales incluidas en una comunicación, así como distinguir sus interrelaciones. En los dos casos, las comunicaciones pueden ser de tipo verbal (un texto o párrafo, una descripción, una definición) o de tipo simbólico-visual (una

gráfica, un esquema, una ecuación química, un dibujo, una tabla de datos, etc.). Antes de proceder a la resolución de un problema, el alumno debe ser capaz de comprender los términos y símbolos en los cuales se ha expresado el mismo, es decir, traducirlos a otros lenguajes, interpretarlos, trasladarlos a sus marcos o esquemas de referencia mentales. Ejemplos: interpretar el significado de una determinada gráfica obtenida experimentalmente; relacionar un conjunto de datos tabulados con la expresión simbólica de una ley; representar gráficamente la ecuación que refleja una determinada ley, a partir de una exposición y explicación de la misma; expresar con diferentes palabras la definición de un concepto científico; dar ejemplos que ilustren la comprensión de un concepto o una determinada teoría, etc.

(2.2) *Extrapolación e inferencia.* En este caso se trata de ir más allá de lo contenido o incluido en una comunicación o en un conjunto de datos y observaciones. Es un proceso mental de orden superior al de traducción o interpretación, pues implica la abstracción de datos, propiedades, procesos o leyes más amplios que los específicamente presentados. Ejemplos: inferir las propiedades físicas y químicas de los elementos más pesados de una familia o grupo de la tabla periódica a partir de las de los más ligeros; extrapolar a partir de una curva experimentalmente obtenida, e inferir propiedades en condiciones no analizadas empíricamente; plantear una hipótesis que dé sentido a un conjunto de observaciones o datos presentados; conjeturar lo que ocurriría en condiciones distintas de las correspondientes a un ejemplo concreto, etc.

(2.3) *Aplicación de conocimientos y abstracciones* en situaciones particulares y concretas. Se trata de aplicar los conocimientos (y la capacidad de comprensión) a la resolución de problemas, ejercicios o dilemas planteando situaciones nuevas, diferentes o desconocidas. Deben incluirse situaciones nuevas con objeto de que se trate de una verdadera aplicación, y no de una reproducción memorística o mecánica de procesos previamente ejercitados. Conviene reflexionar sobre un hecho de gran importancia en este caso: la operación realizada por un alumno concreto puede ser una verdadera aplicación para

él, y no serlo así para otro alumno que se haya ejercitado mecánicamente en la resolución del tipo de problemas o ejercicios planteados. Ejemplos: Aplicar la Segunda Ley de Newton para calcular la aceleración con que se mueve un cuerpo determinado; explicar un fenómeno nuevo mediante la aplicación de una ley física; interpretar un proceso natural a la luz de conocimientos previos.

(2.4) *Análisis de elementos y relaciones* en problemas y en comunicaciones de tipo verbal o visual-simbólico. Las operaciones de análisis suponen el fraccionamiento de una idea en sus partes o elementos y la búsqueda de las interrelaciones entre los mismos. Dentro del proceso científico son de suma importancia: la habilidad para distinguir hechos de hipótesis en una comunicación, la de identificar y diferenciar entre conclusiones y afirmaciones o planteamientos previos, la de descubrir relaciones entre fenómenos aparentemente disociados, la de distinguir entre procesos fundamentales y los accesorios o irrelevantes. Ejemplos: análisis de las fuerzas que actúan sobre un cuerpo en un problema de Dinámica; análisis de las características de una muestra mineral, y clasificación de la misma; análisis de las propiedades de una sustancia orgánica, y búsqueda de principios y relaciones sistematizadoras para proceder a su identificación; localización de las hipótesis y teorías que den cuenta de un conjunto de observaciones aparentemente no relacionadas entre sí; detectar las suposiciones e hipótesis sobre las que se basa una determinada interpretación científica; descubrir la ley física que resume un conjunto de relaciones causa-efecto.

(2.5) *Síntesis de comunicaciones*. De acuerdo con Bloom, se incluiría aquí el desarrollo de comunicaciones en las cuales el escritor u orador se propone transmitir ideas y/o experiencias a otros. Implica esta síntesis la capacidad de expresión oral o escrita, y, como tal, se trata de un resultado educativo de fundamental importancia. Esta capacidad se puede desarrollar y evaluar mediante las tareas y exámenes del tipo de los ensayos, como analizamos brevemente en otros capítulos del libro. La organización y coherencia en los escritos, y la fluidez en la expresión, son piezas clave en los procesos de comunica-

ción inter-personal, en los cuales se apoya gran parte de la actividad científica. Como estudiamos en otro lugar, la capacidad de síntesis interviene notablemente en los procesos de creatividad, puesto que implica una construcción, a partir de elementos previamente aislados, de un producto nuevo y con una entidad propia, y de ahí su estrecha relación con la capacidad creadora. Ejemplos: composición de un ensayo en el que se analicen las semejanzas y diferencias entre los elementos de dos familias químicas; analizar y reflejar en una comunicación escrita los jalones básicos del desarrollo de la Biología en el siglo XIX; influencias de la tecnología sobre el desarrollo de la Termodinámica en el siglo XIX: comparar estas influencias con las que han tenido lugar en el siglo actual entre la electrónica aplicada y la física del estado sólido.

(2.6) *Síntesis en investigaciones y en la resolución de problemas.* La resolución de un «problema» científico supone dos pasos claramente definidos: por una parte, el análisis previo de los elementos y relaciones intervinientes en el mismo y, por otra, la síntesis de una solución razonable y lógica, de acuerdo con las condiciones impuestas, mediante la búsqueda de hipótesis, factores, operaciones, etc., que organicen y engloben los distintos elementos individuales. Un problema, desde nuestro punto de vista, es de una naturaleza más compleja que los sencillos ejercicios y operaciones de aplicación que hemos incluido en el nivel 3.3, y su resolución debe suponer una secuencia de procesos aplicativos de leyes y abstracciones a situaciones concretas. Los problemas, como tenemos ocasión de analizar con más detalles en otros lugares del libro, pueden ser de tipo cerrado o convergente (con una única solución aceptable, aunque con diversas vías o caminos para alcanzarla), o de tipo abierto o divergente, con varias soluciones válidas. Resolver un problema equivale a poner en juego una estrategia y un plan de acción, con un conjunto de pasos y etapas de distinta naturaleza, todo lo cual refleja un proceso de síntesis de capital importancia para la educación y el proceso científicos. El investigador, sea experimentalista o teórico, se encuentra enfrentado con multitud de problemas en su quehacer, y lo mismo el ingeniero y el tecnólogo (aunque en

este último caso la síntesis puede referirse a un proyecto de orden práctico, en lugar de tratarse de un modelo, una teoría o un conjunto de hipótesis interpretativas). Ejemplos: calcular las condiciones de movimiento de dos cuerpos sometidos a fuerzas exteriores y de interacción (según el nivel de formación y madurez de los alumnos, este ejemplo puede incluirse aquí, o bien en el nivel 3.3, de Aplicación); calcular las condiciones de equilibrio de una mezcla de gases; identificar la naturaleza de las componentes de una mezcla de productos químicos conociendo un conjunto de propiedades y reacciones que pueden tener lugar en la misma; analizar un hecho físico y formular y criticar diversas hipótesis que puedan dar cuenta de las características del mismo, etc. Queremos repetir una vez más que un problema de análisis-síntesis puede convertirse en un simple ejercicio de comprensión-aplicación para los alumnos más aventajados. Dependiendo del nivel de enseñanza, un mismo objetivo explícito puede ser incluido dentro de un estrato inferior o superior de la taxonomía propuesta.

(2.7) *Síntesis de diseños experimentales.* Este nivel está muy relacionado con el anterior. La realización de un diseño experimental, supone, en realidad, resolver un problema de tipo experimental, en contraposición a los de tipo teórico o deductivo. El diseño puede o no llevarse a la práctica, puede reducirse al planteamiento de un conjunto de operaciones, o puede incluir también la realización experimental de las mismas. Los científicos experimentalistas se enfrentan constantemente con la realización de este tipo de diseños, para cubrir objetivos de muy diversa naturaleza: comprobación de hipótesis y modelos teóricos, investigación de las influencias de distintas variables sobre un determinado sistema, etc. En el capítulo 7.º, al aludir al trabajo en el laboratorio escolar, abordamos el estudio de este aspecto desde un punto de vista pedagógico. Ejemplos: diseño de un experimento para medir la influencia sobre la velocidad de reacción química de diferentes factores intervinientes; diseño de un experimento para comprobar las reacciones y defensas de una determinada especie animal o vegetal ante los cambios suscitados en el medio ambiente, etc.

(2.8) *Evaluación crítica de comunicaciones.* El nivel de Evaluación, de acuerdo con Bloom, comporta la formulación de juicios de valor sobre materiales y métodos, de acuerdo con determinados propósitos. Incluye juicios de tipo cualitativo o cuantitativo respecto al grado con que dichos materiales y métodos satisfacen determinados criterios de tipo interno (aspectos lógicos y coherencia de razonamientos) y de tipo externo (por ejemplo: simplicidad, economía, viabilidad, etc.). Ejemplos: detectar los errores y falacias de razonamiento en un texto que presenta un análisis de tipo deductivo y en el cual se extraen consecuencias a partir de un modelo teórico (tipo interno); evaluar el grado de realismo y viabilidad de un determinado diseño experimental (tipo externo); evaluar, de acuerdo con criterios de elegancia y simplicidad, un conjunto de teorías y modelos científicos (tipo externo); etc.

1.6. ANALISIS DE ALGUNAS OTRAS FUENTES DE OBJETIVOS

La taxonomía de objetivos más completa desarrollada hasta el presente, en el área de la enseñanza científica, es la de Klopfer (13). Los aspectos más destacados de dicha taxonomía se han incluido, en una forma u otra, en los apartados anteriores, aunque englobados en una estructura distinta. Klopfer hace un hincapié especial en el desarrollo de objetivos relacionados con los procesos científicos (si distinguimos entre *productos* o conjunto de conocimientos recogidos en libros y publicaciones, y *procesos*, o métodos de investigación y razonamiento). En nuestra taxonomía, las componentes incluidas bajo el epígrafe de «conocimientos o información funcionales» estarían relacionados con los productos, y las incluidas en «habilidades y procesos mentales» lo estarían con los procesos científicos. Los niveles que considera Klopfer son los siguientes:

- A: Conocimiento y comprensión.
- B: Procesos de observación y medida (análisis de datos).
- C: Procesos de análisis de problemas.

D: Procesos de interpretación de datos y de extrapolación-inferencia.

E: Procesos de construcción de modelos y análisis de hipótesis.

F: Aplicación.

G: Habilidad manual (en el uso de material de laboratorio).

H: Actitudes e intereses de tipo científico.

I: Comprensión de la naturaleza de la Ciencia y de sus relaciones con el desarrollo social y tecnológico.

El único aspecto nuevo que incluye Klopfer, en relación con la taxonomía que desarrollamos en el apartado anterior, y que tiene bastante importancia, es el reflejado en el punto G: habilidad manual en el trabajo experimental y en el laboratorio escolar. De acuerdo con Klopfer, todavía no se han hecho estudios serios y completos acerca de las habilidades implicadas en este tipo de trabajo. Dos niveles pueden distinguirse inicialmente dentro del punto G: por una parte, el desarrollo de habilidades en el uso de material y equipos comunes y, por otra, la utilización de técnicas de investigación y trabajo experimental con meticulosidad y seguridad. Así como los objetivos recogidos en el apartado 1.4 se mueven dentro del plano afectivo (actitudes) y los recogidos en el 1.5 en el plano cognoscitivo (conocimientos y habilidades mentales), el nuevo tipo de objetivo incluido por Klopfer está relacionado con el plano psicomotor (destrezas manuales). Los tres planos son de distinta naturaleza y todos ellos deberían ser tenidos en cuenta en la planificación de objetivos y en la programación de la enseñanza de las Ciencias. El punto I de Klopfer (comprensión de la naturaleza y del papel de la ciencia) está cobrando cada vez mayor importancia, como creemos quedará claro en diferentes lugares del libro. Dado su carácter cognoscitivo, puede muy bien incluirse en la taxonomía presentada en el anterior apartado.

Una taxonomía clásica, y muy popular, es la de Nedelsky (14), estructurada en torno a tres niveles claramente definidos: conocimiento, comprensión (tanto analítica como intuitiva).

va) y, finalmente, habilidad para aprender. Los aspectos incluidos son:

Capacidad 1: Conocimiento verbal y matemático, relacionado con lo que nosotros denominamos información funcional.

Capacidad L.1: Conocimiento de laboratorio, también del tipo de la información funcional.

Capacidad 2: Comprensión verbal y matemática (de los temas individuales, de los principios, de interrelaciones, de la naturaleza y estructura de la ciencia).

Capacidad I.2: Comprensión intuitiva.

Capacidad L.2: Comprensión en el laboratorio (de los procesos de medición y de experimentos).

Capacidad L.I.2: Comprensión intuitiva de un fenómeno.

Capacidad 3: Capacidad para aprender (para comprender un texto escrito, para comprender símbolos no verbales, para pensar disciplinadamente, para pensar creativamente, para utilizar fuentes de información).

Capacidad L.3: Capacidad para aprender de la observación y de la experimentación.

Nedelsky, por consiguiente, hace énfasis sobre los aspectos cognoscitivos y sobre los procesos científicos y la capacidad del alumno para aprender por sí mismo, sin la ayuda y dirección constante de sus profesores. El desarrollo de hábitos de estudio y trabajo independientes estaría especialmente incluido en gran parte de su taxonomía. Como es bien sabido, los hábitos de estudio reflejan una interacción práctica entre aspectos cognoscitivos («saber cómo trabajar intelectualmente») y aspectos afectivos (actitudes positivas y constancia). Una enseñanza verdaderamente fructifica de materias de tipo científico debe conceder una atención especial al desarrollo de este tipo de hábitos que, junto con las habilidades de pensamiento e investigación, constituyen y estructuran la parte más destacada de una formación duradera.

1.7. RESUMEN DEL CAPITULO

Se analizan en este primer capítulo diversos conceptos relacionados con los objetivos de la enseñanza científica. Estos objetivos se estudian desde dos puntos de vista: el de los aspectos personales y sociales de la educación y el de los diferentes niveles psicopedagógicos. En relación con el primero, se discuten brevemente las implicaciones que la enseñanza de las ciencias puede tener sobre el desarrollo y maduración personales de los alumnos, así como sobre el desenvolvimiento y mejora de la sociedad en la que dichos alumnos se encuentran integrados.

En cuanto al segundo punto de vista, se desarrolla una taxonomía de objetivos en el plano cognoscitivo (conocimientos y destrezas mentales), a partir de las conocidas aportaciones de Bloom en esta línea. De la misma manera, se tocan brevemente los planos afectivo (actitudes e intereses) y psicomotor (destrezas manuales y de laboratorio). Como es lógico, todos los puntos incluidos en este capítulo tendrán más detallado tratamiento en diferentes lugares del libro. Es competencia de todo tratado de Didáctica Especial dar cumplida cuenta de diversos modos de enfocar los objetivos educacionales en el área correspondiente, así como de presentar diferentes vías alternativas y procedimientos para conseguirlos.

CUESTIONES DE APLICACION Y AUTOEVALUACION

1. En las «nuevas orientaciones pedagógicas» para la Segunda Etapa de la Educación General Básica (15), se hacen las siguientes observaciones en relación con los objetivos didácticos en el área de Ciencias: «El período de la 2.^a etapa de la E.G.B. en las Ciencias de la Naturaleza debe ser en sí una experiencia de formación y servir también como base para el futuro aprendizaje científico. Este período debe estar orientado para desarrollar en el alumno una actitud de curiosidad respecto al mundo que le rodea, que le lleve a una serie de conoci-

mientos adquiridos por observación y experimentación y a intentar buscar explicación a sus observaciones.» Más adelante se detallan los siguientes aspectos:

«Como objetivos formativos para los tres años de la 2.^a Etapa se tenderá a:

- Que el alumno llegue a concebir la ciencia como una actividad humana, base de una cultura.
- Que conozca las aplicaciones tecnológicas de la ciencia y su repercusión social.
- Inculcar en el alumno el espíritu de observación del mundo que le rodea.
- Motivar el estudio de la ciencia como algo vivo, en construcción.
- Fomentar una forma de pensar creativa y disciplinada.
- Crear y fomentar en él actitudes y destrezas de veracidad en el trabajo científico, actitud crítica, espíritu de investigación y habilidad mental y manipulativa.»

De acuerdo con lo expuesto en este capítulo, intente dar forma al conjunto de objetivos generales propuestos en los párrafos anteriores para la E.G.B., a lo largo de las siguientes líneas: 1.^o) localice los aspectos personales y sociales en este conjunto de objetivos; 2.^o) distinga los aspectos cognoscitivos (conocimientos y destrezas mentales) de los de tipo afectivo (actitudes e intereses) y de tipo psicomotor (habilidad manual).

2. Los objetivos propuestos para la enseñanza de las Ciencias Naturales en el curso 1.^o del B.U.P. (16) son los siguientes:

- Formación científica, capacidad de análisis, objetividad.
- Conocimiento de la Tierra. Su constitución y dinámica actual.
- Estudios del origen, desarrollo y evolución de los seres vivos que sobre la Tierra han existido y viven en la actualidad.

- Contribuir a despertar en los alumnos una conciencia de responsabilidad y respeto por la Naturaleza y, en consecuencia, por la comunidad humana.
- Adquisición de determinadas técnicas de experimentación y trabajo.
- Conocimientos específicos que permitirán su acceso con la debida preparación a los estudios superiores.

En cuanto a la enseñanza de la Física y Química en los cursos 2.º y 3.º del B.U.P. (16), algunas de las reflexiones didácticas planteadas han sido:

- Se procurará, siempre que sea posible, poner a los alumnos en relación con los problemas de la vida real.
- Se procurará iniciar a los estudiantes en el conocimiento de las leyes del mundo físico, proporcionándoles un entrenamiento sistemático para la observación atenta de los fenómenos, para la experimentación y la estimación crítica de los resultados obtenidos. Se les orientará para la correcta expresión de los fenómenos y leyes del mundo físico-químico.
- Se destacará el carácter cuantitativo de ambas ciencias y se aprovecharán todas las ocasiones posibles para resaltar la continua aplicación del método científico.

Realice una análisis de estos objetivos de forma similar a la propuesta en la cuestión anterior. ¿Cuáles de estos objetivos le parece que están planteados de forma confusa? ¿Cómo podrían expresarse de forma más inequívoca? ¿Consideraría conveniente añadir algún otro objetivo formal o general a los puntos anteriores?

3. Teniendo en cuenta que tanto las Ciencias Naturales como la Física y Química son materias optativas en el curso 3.º del B.U.P., ¿qué precisiones realizaría en cuanto a los objetivos formales a conseguir con la enseñanza científica en dicho curso, en comparación con los dos primeros cursos?

4. Paul D. Hurd ha dicho: «Sin un conocimiento de la ciencia, los estudiantes no estarán nunca preparados para participar plenamente de la cultura en que viven.» Criticar y matizar, en relación con los diferentes niveles educativos, dicha observación y extraer conclusiones pertinentes de la misma. ¿Qué aspectos positivos considera que incluye la nueva estructura del bachillerato en comparación con la del antiguo Plan de 1957?

5. Planifique y estructure los objetivos didácticos que consideraría conveniente alcanzar en una determinada Unidad Didáctica del nivel en el cual realiza usted actividad docente. La estructuración (en el campo cognoscitivo) debería tener en cuenta las dos vertientes siguientes: 1.º) Conocimientos funcionales («contenidos»), es decir, programa de la Unidad con una estructura y organización coherentes; 2.º) Habilidades y destrezas mentales («objetivos de conducta»), es decir, conjunto de operaciones intelectuales que el alumno ha de ser capaz de realizar a partir de los conocimientos funcionales propuestos para la Unidad. En esta programación de objetivos es útil tener en cuenta alguna de las taxonomías propuestas a lo largo de este capítulo. Es de suma importancia dotar de estructura al conjunto de objetivos, es decir, analizar la importancia relativa de unos respecto a los restantes, así como la secuenciación temporal más adecuada de los mismos. Pueden obtenerse detalles adicionales en relación con este aspecto en el capítulo 9.º (programación y construcción del currículum).

REFERENCIAS

- (1) Cf., por ejemplo, la excelente obra de Jean STOETZEL: *Psicología Social*, Ed. Marfil, Alcoy, 6.^a Ed., 1974.
- (2) SOLER, E. «Una didáctica de las Ciencias sin dogmas», en *Aula Abierta*, n.º 4, pp. 17-21, Oviedo, Dic. 1973.
- (3) Cf., como exponentes de diferentes líneas pedagógicas: B. F. SKINNER: *La tecnología de la enseñanza*, Ed. Labor, Barcelona, 1970 (Ed. original de 1968); ROGERS, Carl: *El proceso de convertirse en persona*, Ed. Paidós, Buenos Aires, 1972 (Ed. original, 1961); COMBS, Arthur W., et. al.: *The Professional Education of Teachers: A Perceptual View of Teacher Preparation, Revised Edition*, Allyn & Bacon, 1975.
- (3 bis) SUCHODOLSKI, Bogdan: *Fundamentos de pedagogía socialista*, Ed. Laia, Barcelona, 1974 (Ed. original, 1967).
- (4) OGDEN, W. R. «Secondary School Chemistry Teaching, 1918-1972: Objectives as Stated in Periodical Literature», en *Journal of Research in Science Teaching*, Vol. XII, n.º 3, pp. 235-245, Julio 1975.
- (5) EDUCATIONAL POLICIES COMMISSION. *Education and the Spirit of Science*, National Education Association, 1966 (Estados Unidos).
- (6) MARTIN, Michael. *Concepts of Science Education: A Philosophical Analysis*, Scott, Foresman & Co., 1972, pp. 141-144.
- (7) BLOOM, B. S., y colaboradores. *Taxonomía de los objetivos de la educación: la clasificación de las metas educacionales*, Ed. El Ateneo, Buenos Aires, 1972 (también en Ed. Marfil, Alcoy, 1973). Obra originalmente publicada por Mc Kay Co., Nueva York, 1956.
- (8) HEDGES, W. D. *Testing and Evaluation for the Sciences*, Wadsworth Pub. Co., Belmont, California, 1966, pp. 25-88.
- (9) MARTINEZ, Carmen; MARTELES, P.; ARRIBAS, C. *Programación de los contenidos de aprendizaje y formulación de los objetivos educativos*, I. C. E. de Zaragoza, 1973.
- (10) MADDAUS, G. F. et. al. «A Causal Model Analysis of Bloom's Taxonomy», en *American Educational Research Journal*, Vol. 10, n.º 4, páginas 253-262, otoño 1973 (policopiado).
- (11) Los aspectos fundamentales de esta taxonomía los hemos incluido en nuestro trabajo: «Objetivos de la enseñanza científica: desarrollo de una taxonomía», en *Bordón* n.º 221, Enero-Febrero 1978, pp. 5-16.
- (12) CONANT, J. B. *Science and Common Sense*, Yale University Press, New Haven, 1951.
- (13) KLOPFER, L. E. «Evaluation of Learning in Science», en B. S. Bloom, J. T. Hastings, G. F. Maddaus (eds.): *Handbook on Formative and Summative Evaluation of Student Learning*, Mc Graw Hill, Nueva York, 1971, pp. 559-641.

(14) NEDELSKY, Leo. *Science Teaching and Testing*, Harcourt, Nueva York, 1965, pp. 16-19 (la taxonomía de Nedelsky se encuentra reproducida en el libro de Pedro D. Lafourcade *Evaluación de los aprendizajes*, Ed. Kapelusz, Buenos Aires, 1969, pp 312-318).

(15) 2.ª Etapa de E.G.B., nuevas orientaciones pedagógicas. Publicadas en *Vida Escolar*, n.º 128-130, abril-junio 1971.

(16) Orden de 22 de marzo de 1975 («BOE» de 18 de abril de 1975), por la que se aprueba el Plan de Estudios del Bachillerato.

BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTARIA

Presentamos en este apartado una reseña de otros trabajos y publicaciones relacionados con el tema tratado en este capítulo, y que pueden resultar de interés para el lector interesado en ampliar alguno de los puntos analizados.

- BILLEH, V. Y. «An Analysis of Teacher-Made Science Test Items in Light of the Taxonomic Objectives of Education», en *Science Education*, 58(4), pp. 313-319, 1974. Se resume en este trabajo una investigación realizada por el autor que pretende inferir el tipo de objetivos planteados por diferentes profesores de Ciencias, a partir de un análisis de sus pruebas de evaluación.
- BROWN, S. C. et. al. (eds.) *Why Teach Physics?*, The M. I. T. Press, Massachussets, 1964. Especialmente pp. 22-44 y 45-59. Se analizan, en este conjunto de aportaciones, los objetivos de la enseñanza de la Física en diferentes niveles educacionales.
- HURD, Paul D. *New Curriculum Perspectives for Junior High School Science*, Wadsworth Pub. Co., Belmont, Calif., 1970. Cf. también su obra *New Directions in Teaching Secondary School Science*, Rand Mc Nally, Chicago, 1969. Se incluyen reflexiones valiosas en relación con los objetivos de la enseñanza de las ciencias en los niveles secundarios (2.ª Etapa de la E.G.B. y el bachillerato).
- JEVONS, F. R. *The Teaching of Science: Education, Science and Society*, Allen & Unwin, Londres, 1969. Un estudio amplio y analítico de los valores culturales, sociales, humanísticos y profesionales de la enseñanza de las ciencias.
- MAGER, R. F. *Preparing Instructional Objectives*, Fearon Publishers, Palo Alto, Calif., 1962 (existe traducción al castellano: *Formulación operativa de los objetivos didácticos*, Ed. Marova, Madrid, 1973). Obra clásica en su campo de estudio, y que ha influido de forma notable sobre otras posteriores.
- MOORE, R. W.; SUTMAN, F. X. «The Development, Field Test and Validation of an Inventory of Scientific Attitudes», en el *Journal of Research in Science Teaching*, Vol. 7, pp. 85-94, 1970. Se recoge aquí un inventario o taxonomía de actitudes de tipo científico, de valor para la evaluación de objetivos en el campo afectivo.

II. LA NATURALEZA DE LA CIENCIA Y SUS IMPLICACIONES DIDACTICAS

II.1. ¿QUE ES LA CIENCIA?

No se puede pretender construir con seriedad una Didáctica Especial de las ciencias sin delimitar previamente lo que se entiende por «Ciencia», así como clarificar sus componentes estructurales y metodológicas. Sin este análisis previo, pocas veces realizado en profundidad por los libros y tratados existentes en relación con esta área de la didáctica, se corre un grave peligro: el de presentar un conjunto de métodos didácticos, y procedimientos, disociados de la naturaleza propia de la ciencia y de sus modos de operar.

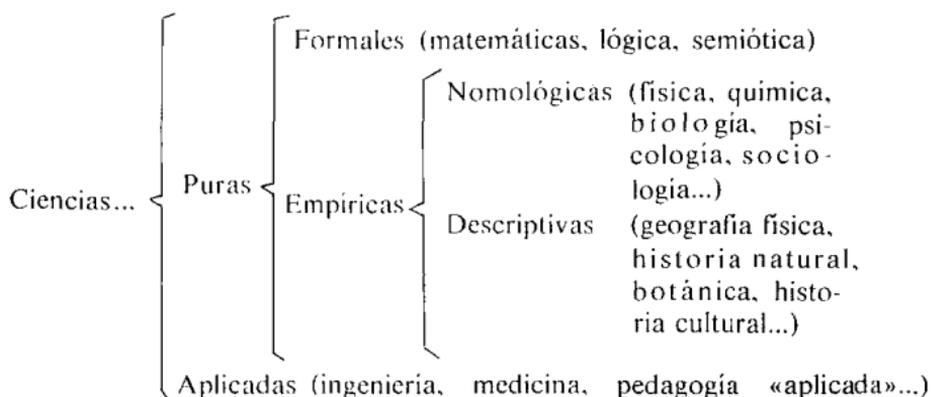
Se han apuntado en numerosas ocasiones definiciones más o menos valiosas de la «ciencia». Una definición, sin embargo, no es lo más conveniente en la línea de comprensión y clarificación, como muy bien ha dicho Bernal en relación con la crítica del profesor Dingle a su obra (1). La naturaleza de los procesos científicos, así como sus interrelaciones con otros campos del saber, han evolucionado de forma notable a lo largo de la historia, y de ahí el peligro de las definiciones cerradas y definitivas, que ahogarían múltiples vertientes y facetas.

Es importante, asimismo, precisar hasta qué punto la denominación de «ciencia» es aplicable a unas actividades y no a otras. Algunos autores han propuesto identificarla con *las actividades llevadas a cabo por los científicos*, pero esta definición tiene un carácter marcadamente cíclico (algo semejante tiene lugar con la definición operacional de «inteligencia», la cual ha sido en ocasiones identificada con «lo que miden los tests»). El mismo vocablo «científico», propuesto por vez pri-

mera por Whewell (2), puede dar lugar a confusión, y no cabe duda que diferentes personas lo utilizan de forma distinta y con finalidades muy diversas.

En un reciente estudio del profesor París (3) se ha planteado con claridad la ruptura actual de gran parte de la antigua dicotomía ciencias-letras; esto es así debido a la creciente infusión de métodos cuantitativos e inductivo-deductivos en muchos campos que hasta hace bien poco estaban cargados de connotaciones ajenas a estos métodos. En palabras del profesor París, han ido surgiendo zonas de actividad intelectual «cuya propia naturaleza no encajaba fácilmente en este dualismo» (ciencias-letras); «el hecho decisivo —continúa— ha venido constituido por el desarrollo de las ciencias del hombre y de la sociedad con un planteamiento rigurosamente científico. La psicología, la sociología, la economía se han organizado como saberes basados, al modo de las ciencias de la naturaleza, en la utilización de la matemática y el experimento o la observación». Más adelante afirma que «la imagen del conocimiento científico nos aparece no ya escindida en constelaciones básicamente heterogéneas, sino como la realización de la intención científica de un *conocimiento riguroso y objetivo* en unas variedades de posibilidades plasmadoras de tal ideal».

Estas ideas y observaciones son tenidas en cuenta y ampliadas en diversos lugares de este libro, especialmente en los capítulos 4.º y 9.º. La clasificación o taxonomía de las ciencias presentada por el profesor París incluye las siguientes divisiones fundamentales:



Históricamente, las ciencias empíricas han ido evolucionando de forma ascendente hacia *niveles nomológicos*, mediante la búsqueda de *leyes y modelos interpretativos* que diesen cuenta o armonizaran regularidades y observaciones empíricas de diferente índole (nomología, etimológicamente, significa «conocimiento de leyes»). Dado que en este libro nos centramos de forma prioritaria en las ciencias de la naturaleza —Física, Química, Ciencias Naturales— es nuestra intención analizar fundamentalmente el carácter nomológico de las mismas, aunque también aludiremos en ocasiones a sus aspectos descriptivos; no debemos olvidar, en este sentido, que todas las ciencias de tipo empírico han surgido a partir de observaciones y descripciones simplistas de la realidad. Los aspectos formales, es decir, la lógica científica y la utilización de las matemáticas como herramienta básica, también serán analizados brevemente en diversos lugares. En lo que sigue utilizaremos el término «ciencia» para referirnos de forma casi exclusiva a las ciencias de la naturaleza.

Un aspecto de las ciencias que destaca de forma notable es su *carácter acumulativo*. No cabe duda que han evolucionado o progresado a ritmo creciente desde las primeras épocas, y sobre todo a partir del siglo XVII, como estudiamos cuantitativamente en el capítulo 8.º Según ha hecho observar Conant (4), si retornasen a la vida algunas de las figuras señeras en actividades de tipo científico (Kepler, Boyle, Newton, etc.) apreciarían un avance notable en sus campos del saber. En áreas de naturaleza no científica, sin embargo, esta apreciación no sería tan evidente (pensemos, por ejemplo, en varios de los nombres propios relevantes en las artes, la poesía, la filosofía y la música).

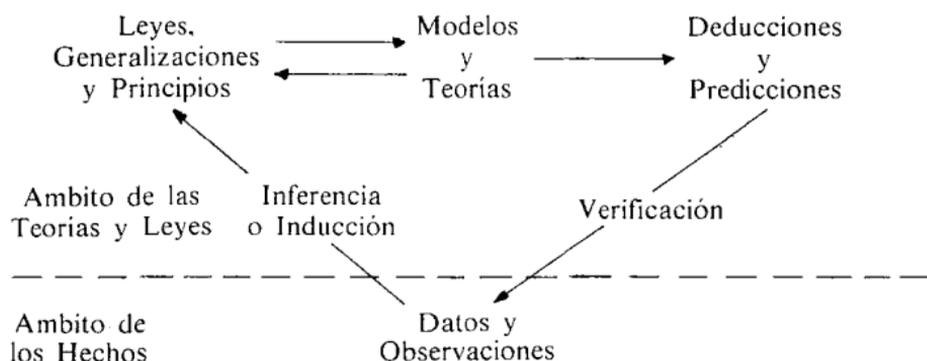
Sobre esta realidad se apoya la conocida identificación de Herbert Spencer de la Ciencia con un *conjunto organizado de conocimientos* (el vocablo «ciencia», además, tiene su origen etimológico en *scientia*, que significa *conocimiento* o *sabiduría*). Este conjunto organizado se ha recogido tradicionalmente en libros y manuales, desempeñando los modernos libros de texto el papel que en otras épocas han asumido tratados y compendios de todos conocidos, por ejemplo: la Física de

Aristóteles, el Almagesto de Ptolomeo, la Geología de Lyell, etcétera.

No conviene, sin embargo, identificar la Ciencia con un conjunto de saberes, puesto que perderíamos de vista sus aspectos dinámicos y sus procesos de investigación e indagación. Los saberes científicos no tienen un carácter estático y acabado, sino que se están desarrollando y acrecentando de forma constante a partir de saberes y conceptos previos. Se destaca, por consiguiente, y de forma muy notable, el *carácter evolutivo y dinámico* de la ciencia, la cual, además de estar integrada por un conjunto de conocimientos, constituye *un sistema de investigación y una metodología específica*. A lo largo de los apartados siguientes delimitaremos con más detalle esta característica esencial de la actividad científica.

11.2. LOS PROCESOS Y METODOS DE LA CIENCIA

Las componentes fundamentales que analizamos en este apartado se pueden sintetizar en el siguiente esquema:



Este esquema comporta, en realidad, un modelo bastante simplificado del proceso científico, el cual es nuestra intención matizar y articular de forma más precisa a lo largo del presente capítulo. De acuerdo con este esquema, la ciencia construye modelos y teorías interpretativos a partir de leyes y generalizaciones inferidas o inducidas de observaciones de determinados hechos experimentales o naturales. Estos modelos permiten

realizar deductivamente una serie de predicciones, las cuales deberán ser verificadas con objeto de poner a prueba la bondad y calidad de los mismos. Se recogen aquí, por consiguiente, dos aspectos fundamentales: el empírico (observación de sucesos naturales y de procesos experimentales), y el lógico-teórico (inferencia de leyes y construcción de teorías). Seguidamente describimos con un cierto grado de detalle las características esenciales de estas componentes del proceso científico.

a) *Observación de sucesos y hechos.*

En el capítulo anterior aludimos a las dos facetas distintivas de los llamados «hechos científicos»: la posibilidad de observación directa de los mismos y, por otra parte, su repetibilidad o replicabilidad. Los científicos, generalmente, no toman en consideración los llamados hechos o sucesos para-normales, que tienen lugar en condiciones extrañas o no controladas, y cuyo estudio y descripción no pueden ser sistemáticamente realizados con los métodos habituales. Esta situación ha motivado el crecimiento de las llamadas para-ciencias o ciencias paralelas, las cuales se han desarrollado de una forma notablemente independiente.

Desde los tiempos más remotos el hombre ha tenido a su disposición el más grandioso de todos los laboratorios existentes: el mismo Universo. Aunque, según parece, el método experimental cuantitativo no ha tomado carta de naturaleza hasta el siglo XVII, desde épocas lejanas el hombre ha estudiado las regularidades observables en el mundo a su alrededor y ha planteado modelos interpretativos que dieran cuenta de las mismas. Reza un conocido refrán: «si el cielo estuviera permanentemente nublado, estaríamos todavía en la prehistoria de la ciencia»; no deja de encerrar gran parte de verdad este dicho, puesto que las primeras raíces de la observación científica sistemática cabe hallarlas en la más antigua de las ciencias: la astronomía. En las antiguas culturas babilónicas se logró conocer de forma bastante precisa los esquemas y detalles de gran cantidad de eventos estelares, lo que facilitaba la realización de predicciones. Estas predicciones, sin embargo, podían aventurarse sin necesidad de teorías y modelos explicativos:

bastaba con disponer de tablas suficientemente precisas que reflejasen la periodicidad de los sucesos observados. Las primeras hipótesis y modelos conocidos que dieron cuenta de dichas regularidades no fueron construidos hasta el advenimiento de la cultura griega (modelos de Eudoxo, de Ptolomeo, etc.) como muy bien ha analizado Toulmin (6).

La clasificación y tabulación de observaciones (aspectos descriptivos de la actividad científica) han jugado, por consiguiente, un papel de gran relevancia en el desarrollo del saber. Han precedido casi siempre al planteamiento de modelos y teorías interpretativas, así como al conocimiento sistemático de leyes de alcance más general que el logrado por un conjunto restringido de datos y tabulaciones. Qué duda cabe que solamente un conjunto amplio y una sistematización adecuada de descripciones hicieron posible la hipótesis sobre el Origen de las Especies de Darwin, por poner un ejemplo.

b) *Experimentación u observación controlada.*

El investigador dispone de otro campo de posibilidades para lograr un conocimiento sistemático de la Naturaleza: los métodos experimentales. Cabría distinguir, por lo tanto, entre dos tipos de investigación: la que podríamos denominar *investigación observacional* (la terminología es nuestra), a través de la cual se estudia y analiza el comportamiento del Universo sin manipular o intervenir abiertamente en los sistemas considerados, y la *investigación experimental*, en la cual se controlan un conjunto de variables intervinientes en un determinado proceso, y se estudian sus influencias sobre otras variables (las dependientes). Se suele decir que el método experimental, tal como lo conocemos hoy en día, surgió en el siglo XVII con los trabajos de Galileo fundamentalmente. A lo largo de la historia numerosos científicos se han destacado por sus aportaciones relevantes en el ámbito de la experimentación, como Hooke, Gay-Lussac, Faraday, Mendel y Rutherford, mientras que otros son más conocidos por sus construcciones teóricas. Tanto los investigadores teóricos, como los experimentalistas, son necesarios e indispensables para el crecimiento del edificio científico.

De la misma forma que la astronomía y, a partir de ella, el conocimiento de las leyes de la gravitación universal surgieron de la observación de los movimientos estelares, la química y otras ciencias se han fraguado fundamentalmente sobre bases experimentales. El conjunto creciente de conocimientos acumulados por los alquimistas en sus laboratorios constituyó el terreno de cultivo de la primera teoría fructífera y coherente de la estructura de la materia: la teoría atómica de Dalton. Sin los trabajos experimentales previos de investigadores de la talla de Stahl, Richter, Priestley y Lavoisier difícilmente hubiera visto la luz la teoría de Dalton.

c) *Utilización de instrumentos de observación y medida.*

Tanto en la observación directa, como en la controlada o experimental, es de suma importancia disponer de una serie de instrumentos que aumentan la capacidad de observación de nuestros sentidos o que, incluso, la modifican y transforman. Los telescopios y microscopios incrementan la capacidad de visión remota y próxima. El primer telescopio conocido no fue diseñado hasta los albores del siglo XVII (hacia el año 1608), y es curioso constatar cómo se pusieron los pilares básicos de la astronomía sin disponer de este precioso instrumento: las precisas observaciones de los babilónicos, los griegos y de figuras más próximas en la historia, como son Copérnico, Tycho-Brahe y Kepler, se realizaron con el ojo desnudo. Las precisiones y correcciones más afinadas a los modelos gravitacionales recientes, como es el de Newton, solamente se han podido realizar, sin embargo, con ayuda de telescopios de gran sensibilidad. En cuanto al microscopio, hubiera sido imposible el actual conocimiento de las estructuras celulares y pluricelulares sin este valioso instrumento.

Otros instrumentos son de distinta naturaleza, puesto que con ellos se logra ir más allá de la simple ampliación de la capacidad de nuestros sentidos. Se crean, en realidad, posibilidades de percepción de distinta índole. Pensemos en dispositivos del tipo de los medidores eléctricos, de los detectores de radiaciones infrarrojas y ultravioletas, de los detectores de partículas subatómicas, etc., para apreciar la importancia fundamental de los mismos.

d) *Análisis de datos: representación, inferencia y extrapolación.*

Aunque gran parte de las observaciones científicas se limitan a aspectos cualitativos y estructurales, no cabe la menor duda que una de las facetas más destacadas de las ciencias experimentales es su carácter cuantitativo. Se trata en lo fundamental de inferir leyes y generalizaciones, y de construir modelos interpretativos, en cuyos procesos pesan de forma decisiva aspectos cuantitativos y numéricos. La mayor parte de los experimentalistas de renombre se han distinguido por la calidad y precisión de sus medidas (pensemos en Faraday y Rutherford, como ejemplos destacados). Los datos obtenidos requieren de un análisis posterior, el cual se encuentra en la base de las operaciones de inferencia e inducción.

Un proceso básico, al cual ya aludimos anteriormente, es el correspondiente a la tabulación u ordenación de datos. Una tabulación muy fructífera, y que ha facilitado el conocimiento detallado de la estructura atómica y de las propiedades químicas dimanadas de esta estructura, ha sido la realizada con los elementos conocidos en el siglo XIX, por Mendeleev y otros. Parte de los comentarios que suscitó a Mendeleev su ordenación los resumimos seguidamente, con objeto de ofrecer un ejemplo concreto de la validez de estos procesos (7):

- «1. Los elementos, ordenados de acuerdo con sus pesos atómicos, muestran una periodicidad clara de sus propiedades.
2. Los elementos que muestran similitud en su comportamiento químico tienen pesos atómicos que son aproximadamente iguales o que aumentan de una manera uniforme.
3. La ordenación de los elementos o de los grupos de elementos de acuerdo con sus pesos atómicos se corresponde con la de sus valencias.
4. Los cuerpos hallados con más abundancia en la Naturaleza poseen un peso atómico pequeño.
5. La magnitud del peso atómico determina el carácter del elemento, de la misma forma que la magnitud de la molécula determina las propiedades de un compuesto.

6. Cabe esperar el descubrimiento de numerosos elementos todavía desconocidos.
7. El peso atómico de algunos elementos deberá ser corregido cuando se conozcan sus análogos. Por ejemplo, el peso atómico del teluro quizás resulte ser de 123-126, en lugar de 128.»

Son procesos también de la máxima importancia la representación gráfica de datos y el análisis estadístico de los mismos. La representación gráfica permite la visualización de relaciones entre variables, el descubrimiento de leyes y la realización de predicciones (mediante los procesos de interpolación y extrapolación). No analizamos aquí con detalle estos procesos e invitamos, por consiguiente, al lector interesado a adquirir información adicional detallada en los libros existentes al respecto (el de Weatherall, por ejemplo, incluido en la referencia 7, es básico y claro). En cuanto al análisis estadístico de datos, fundamental en la realización de inferencias y generalizaciones, son abundantes las obras que abordan este tema en forma amplia y exhaustiva. Es relevante reseñar aquí el papel destacado de las matemáticas y de los instrumentos electrónicos de cálculo (calculadores y computadoras) en el proceso de análisis numérico y estadístico. En otros lugares del libro tendremos ocasión de volver sobre este punto concreto.

Como ejemplo de inferencia estadística tenemos el clásico trabajo de Mendel en relación con los cruzamientos y los factores hereditarios (8). Algunas de las relaciones numéricas encontradas por este investigador fueron del tipo: $3.14/1$ ó $2.98/1$, las cuales interpretó Mendel como desviaciones estadísticas de las relaciones ideales $3:1$. Es importante, en la enseñanza de las ciencias, dejar clara la idea de que el investigador no encuentra nunca los valores numéricos exactos que se adecuan a una determinada teoría o modelo: toda teoría supone una idealización o simplificación abstraída de entre un conjunto de factores perturbadores y de azar que intervienen en el sistema a estudio.

e) *Naturaleza de la inferencia científica.*

El proceso de inferencia o inducción supone un paso o salto desde lo particular y concreto (datos y observaciones sobre el comportamiento del mundo) hacia lo general o abstracto (establecimiento de leyes y principios). Es de suma importancia distinguir con claridad entre la *inferencia o razonamiento silogístico* y la *inferencia científica* o inductivo-experimental. De acuerdo con Toulmin (9), la consecuencia obtenida a partir de unas premisas en un determinado silogismo no añade nada nuevo al contenido transmitido por dichas premisas; ejemplo: «todo cuerpo material está constituido por átomos; este mineral es un cuerpo material, luego este mineral está constituido por átomos». Se trata en realidad de una reordenación del contenido de las premisas. La inferencia científica, sin embargo, es de diferente naturaleza, como analizamos a continuación.

Un ejemplo de inferencia experimental nos lo ofrece la formación del concepto de rayo luminoso (10). A partir de un conjunto de observaciones (por ejemplo: formación de sombras de diferente magnitud, según la disposición de la fuente luminosa; transmisión de la luz a través de una serie de orificios alineados, etc.) se infiere o construye el concepto de propagación rectilínea y el de rayo luminoso. Este último concepto tiene amplia *utilidad y aplicabilidad*, dado que nos permite obtener *predicciones* en relación con la magnitud de las sombras proyectadas por diferentes cuerpos, sobre los que incide luz con determinadas direcciones. La naturaleza de este concepto es diferente, sin embargo, o añade algo cualitativamente distinto a las observaciones empíricas que han precedido a su formación. Esto es así por dos razones fundamentales: de una parte el modelo de rayos luminosos encierra información en torno a la naturaleza de la luz (aspectos corpusculares, por ejemplo) y, de otra, supone una generalización o extrapolación infinitamente más amplia que la silogística, puesto que se ha inferido a partir de un número finito de medidas experimentales y, sin embargo, es de validez para un número infinito de situaciones hipotéticas.

Todo concepto científico comporta procesos de generaliza-

ción y extrapolación previos. De igual manera ocurre con las leyes y principios descubiertos experimentalmente, los cuales establecen relaciones dentro del conjunto de conceptos previos. Es importante diferenciar entre dos formas distintas de expresar leyes científicas: de una parte están las *leyes de tipo fenomenológico*, que resumen, describen o sintetizan una pluralidad de observaciones experimentales. Ejemplos: la ley de Boyle-Mariotte (que relaciona presiones con volúmenes, ambos conceptos operacionalmente definidos), la segunda ley de Newton (que relaciona fuerzas con masas y aceleraciones, conceptos operacionales), etcétera. Existe además otro tipo de leyes y principios, los cuales tienen una naturaleza epistemológicamente distinta: en este otro caso se encuentran implicados (en la estructura de las leyes) modelos, deducciones, teorías y sistemas de representación, todos los cuales encierran conceptos no siempre de carácter operacional. Ejemplos: la ley o principio de Avogadro (que supone la aceptación previa de la teoría atómica de la materia), la ley de la gravitación universal (que no fue experimentalmente inducida por Newton, sino deducida a partir de leyes previas, aunque Cavendish la logró reafirmar experimentalmente en el siglo XVIII), las leyes de Fresnel (que suponen un modelo ondulatorio de la luz), etcétera. La distinción entre ambos tipos de leyes no es, sin embargo, completamente clara y nítida dado que, como analizamos más adelante, el carácter operacional o teórico de determinados conceptos, así como su carácter epistémico (si se trata de realidades o de abstracciones), ha fluctuado a lo largo de la historia de la Ciencia. El investigador práctico, en realidad, no necesita en la mayor parte de los casos reflexionar sobre el carácter filosófico de los conceptos y modelos que utiliza en su quehacer. Le basta con conocer el *grado de validez* de los mismos, su *campo de aplicabilidad*, así como sus interrelaciones con otros conceptos y abstracciones.

Es importante dejar claro que *las leyes científicas son, en realidad, leyes de los sistemas de representación y sistemas de conceptos, los cuales es el hombre quien los ha desarrollado*. El hombre es quien estudia la Naturaleza, de la cual forma parte y de la cual no puede escapar. En relación con esta

coyuntura han surgido las diferentes teorías filosóficas que intentan detectar el grado de subjetivismo y el grado de objetividad de las interpretaciones científicas, algunas de las cuales son presentadas en este mismo capítulo. Es también relevante hacer constar que las leyes y modelos no tienen por qué ser falsos o ciertos, sino más o menos fructíferos y válidos. No es la *certeza o falsedad absolutas* lo que está en juego, o al menos ésta es la opinión del autor de este libro, sino la *fecundidad y aplicabilidad* de los modelos e interpretaciones construidos a lo largo de las distintas épocas del desarrollo de la ciencia.

f) *Deducción de modelos y teorías.*

Es objetivo fundamental de la actividad investigadora construir teorías que den cuenta de, o interpreten, el conjunto de observaciones y leyes detectadas experimentalmente. Ya antes aludimos a que la distinción entre ley y modelo o teoría no es siempre completamente nítida y definida, puesto que incluso la medición y estudio de fenómenos y procesos supone la aceptación previa de modelos o sistemas de representación mentales. El investigador que, pongamos por caso, intenta estudiar con un microscopio electrónico determinadas estructuras biológicas, no lo hace dentro de un vacío teórico, dado que sus observaciones están mediatizadas por un sistema conceptual previamente adquirido a través del estudio, la lectura y los contactos con otros científicos.

Desde tiempos lejanos el hombre ha intentado construir teorías que interpretasen o sintetizasen la gran variedad de vivencias y sensaciones de que era objeto (los conocidos experimentos de Piaget, a los que aludimos con cierto detalle en otro lugar, han puesto de manifiesto que los niños intentan también elaborar mentalmente un sistema interpretativo-causal del mundo que les rodea; se encuentran, sin embargo, notables diferencias de orden cualitativo entre los distintos tipos de interpretaciones que les sugieren sus experiencias a lo largo de las sucesivas fases de su desarrollo evolutivo). Ya recordamos anteriormente algunos de los modelos estelares propuestos por los griegos para dar sentido al cuerpo de observaciones astro-

nómicas acumulado a lo largo de muchos años. De entre estos modelos, el de Eudoxo todavía sorprende hoy en día por su meticulosidad y detalle, así como por la precisión con que recoge y tiene en cuenta multitud de observaciones sistematizadas.

Es importante hacer notar aquí que *los modelos y teorías no tienen sentido por sí mismos*, sino en relación con las leyes y principios que interpretan y a partir de los cuales son deducidos o contruidos. Existe un defecto didáctico, más frecuente de lo que cabría pensar a primera vista, que consiste en presentar modelos (por ejemplo: los modelos atómicos y moleculares, las teorías del enlace químico, los modelos físicos de los estados de agregación, etc.) disociados o sin relación con los experimentos y observaciones que han conducido a su construcción. Se corre de esta manera el peligro de que gran parte de los alumnos, y sobre todo los de menor edad, otorguen un carácter existencial a entes y estructuras que *solamente tienen sentido en el plano teórico*. Dada la trascendencia de este punto, volveremos a insistir sobre él en otros lugares del libro.

El paso de leyes y principios a teorías supone un proceso de orden deductivo, si denominamos *deducción* a toda actividad dentro de los planos teóricos o abstractos, o bien, el paso de lo general e idealizado a lo concreto, como veremos más adelante. Según decíamos anteriormente, se han construido interpretaciones desde los tiempos más remotos, de diferente índole: teológica, mágica, religiosa, etc. En este sentido, es importante clarificar las ideas en relación con el carácter científico o no de una determinada teoría. La teoría atómica de la materia, por ejemplo, y tal como fue planteada por los griegos (Leucipo, Demócrito y Epicuro, entre otros), tiene un *carácter marcadamente filosófico y metafísico*, más que científico. Esta teoría, con variaciones más o menos profundas, ha sido defendida a lo largo de la historia por muchísimos pensadores, pero sin salirse nunca del ámbito metafísico. No es hasta la época de Dalton, a principios del siglo pasado, cuando se construye realmente una interpretación científica del atomismo de la materia. ¿Qué características tenía la teoría de Dalton que la diferenciaban de forma tan notable de las anteriores?

Dalton se apoyó sobre un conjunto de leyes empíricas descubiertas por diferentes químicos a lo largo de varios años anteriores: la ley de las proporciones fijas, enunciada por Proust en 1801, la ley de las proporciones múltiples, descubierta por el propio Dalton, y la ley de la conservación de la masa, descubierta por Lavoisier a finales del siglo XVIII, aunque ya intuida por varios filósofos desde épocas muy anteriores. Los principios fundamentales de la teoría de Dalton fueron los siguientes (11):

- Los elementos están constituidos por átomos, partículas discretas de la materia, las cuales son indivisibles.
- Los átomos de un mismo elemento son idénticos en masa y propiedades.
- Los átomos de distintos elementos tienen diferente masa.
- Los compuestos se forman por la unión de átomos de los elementos integrantes en una relación numérica sencilla.

La teoría de Dalton no solamente se apoya sobre un conjunto de observaciones y leyes empíricas, como teoría de origen experimental que es, sino que posibilita la realización de predicciones de fenómenos y procesos, los cuales deberán ser puestos de evidencia posteriormente. *Las teorías científicas, por lo tanto, permiten deducir predicciones, las cuales sirven como índices de su grado de validez y fecundidad.* Este punto es analizado con más detalle a continuación.

g) *Deducción de predicciones: campo de validez de las teorías.*

Toda teoría es, en el fondo, una hipótesis de trabajo, que deberá ser contrastada constantemente con la realidad. No existen teorías definitivas ni modelos de validez universal y perenne: la historia de las ciencias ilustra con claridad este punto, al mostrarnos la perfectibilidad de las diferentes interpretaciones, así como su substitución por otras más completas o que se apoyan sobre postulados básicos diferentes. Debido a este hecho, no conviene referirse a la verdad o falsedad de

determinadas doctrinas, sino a su grado de validez y aplicabilidad en una época concreta (tal como analizamos anteriormente).

De acuerdo con la conocida teoría de la falseabilidad, de Karl Popper (12), no es posible demostrar empíricamente la verdad de un modelo o teoría. Demostrar la «verdad» supondría poner a prueba las predicciones deducidas en todas las circunstancias posibles espacio-temporales, así como con todo tipo de variaciones de los factores constituyentes. Sería posible, en principio, demostrar la falsedad de una teoría si las predicciones de ella extraídas fueran contradichas por la observación experimental. Sin embargo, y como ya hemos repetido varias veces, no es la verdad o falsedad absolutas lo que más importa, sino el grado de validez y fecundidad de los modelos propuestos. A lo largo de la historia de la ciencia han proliferado los ejemplos de teorías que, a pesar de no dar cumplida cuenta de determinados hechos experimentales o incluso estar en aparente contradicción con otros, no han sido abandonadas o rechazadas, por no haberse encontrado sustitutos adecuados que pudieran ocupar su lugar en una postura más ventajosa.

II.3. ANALISIS DE ALGUNAS INTERPRETACIONES DE LA CIENCIA

De acuerdo con Bridgham (13) son tres las líneas fundamentales a lo largo de las cuales han discurrido las principales interpretaciones filosóficas del proceso científico: la ciencia considerada como Empirismo Racional, la ciencia como Empirismo Sistemático y, finalmente, como Investigación Paradigmática. En este apartado analizamos brevemente las dos primeras y aplazamos el estudio de la tercera para el siguiente apartado.

La ciencia como *Empirismo Racional* sería una actividad de base lógica (la lógica científica, que no conviene confundir con la lógica filosófica, como vimos anteriormente), que se articula

en torno a la observación y la experimentación, y de ahí su carácter empírico. El científico, de acuerdo con esta concepción simplista, se supone que estudia la Naturaleza sin prejuicios y de forma «objetiva», basándose en las observaciones realizadas y aplicando las reglas de la lógica para obtener leyes y construir modelos e interpretaciones. Dado que esta Lógica puede ser aprendida y transmitida, y dado que las observaciones se supondrían objetivamente iguales para cualquier científico del área que se considere, las estructuras conceptuales edificadas por los investigadores serían las que «lógicamente» cabría esperar.

La ciencia, por consiguiente, avanzaría cada vez más hacia «la verdad», dado que se dispone de las herramientas intelectuales necesarias para descubrirla. Los datos obtenidos en el laboratorio, así como en el estudio de los procesos naturales que se ofrecen a nuestra consideración, son «neutros», en el sentido de que poseen una realidad y entidad independientes del observador; serían, por consiguiente, apreciados de igual manera por cualquier investigador.

Esta concepción se encuentra profundamente inmersa en la mayoría de las personas laicas al proceso científico. Es muy posible que, si se realizase una encuesta entre este tipo de personas, se descubriría que sus interpretaciones discurren muy paralelamente y coinciden en gran medida con esta línea filosófica.

Otra línea fundamental identifica al proceso investigador en las ciencias con un *Empirismo Sistemático*. El científico, desde este otro punto de vista, no se enfrentaría con el estudio de la Naturaleza desde una posición completamente neutral, sino que sus observaciones, lo mismo que sus métodos y vías de acción, estarían mediatizados de forma relevante por sus *conocimientos y actitudes previos*. El conjunto de conceptos, leyes, modelos, métodos, valores, etc., previamente adquiridos influenciarían y condicionarían, tal como vimos en un apartado anterior, la labor investigadora, siendo como guías o luminarias que centrarían la atención en determinados derroteros. Desde este punto de vista, y siguiendo a Bridgham, «se toman en cuenta con más intensidad algunos tipos de datos que

otros», y «la recogida de dichos datos, así como su interpretación, son más bien programáticos que al azar».

Indudablemente, las fases iniciales del desarrollo de cualquier rama científica se acercan más a un empirismo racional que a un empirismo sistemático. Dado que, en dichas etapas, no existe todavía un conjunto coherente de modelos y conocimientos previos, el investigador se encuentra situado dentro de un mundo conceptual pobremente estructurado y es incapaz de discernir con precisión entre datos relevantes al sistema bajo observación y los datos irrelevantes o espúreos. Las conocidas experiencias llevadas a cabo por Köhler, máximo exponente de la psicología de la Gestalt, con chimpancés en Tenerife (14), han puesto en evidencia el carácter impreciso e indiscriminado (pruebas al azar) de las tentativas iniciales de dichos animales para alcanzar frutas situadas en posiciones casi inaccesibles. Incluso a este nivel, por consiguiente, es necesaria una estructura conceptual previa que guíe las tentativas y economice los esfuerzos.

En otro lugar aludimos al carácter más descriptivo que nomológico de las ciencias en sus fases iniciales. Ante la ausencia de *esquemas conceptuales* que pongan coherencia y den sentido al conjunto de observaciones, el investigador poco más puede hacer que describir de forma sistemática dicho conjunto; de ahí que los antecedentes de la Biología moderna y de la Astronomía y Mecánica Celeste haya que encontrarlos en las taxonomías de Linneo y otros, en las tablas astrológicas de los caldeos, y en las Tablas Alfonsinas del siglo XIII. El empirismo racional encierra un esquema epistemológico más profundo que estos sistemas de descripción y tabulación. Sin embargo, la naturaleza de la ciencia moderna se acerca más a un empirismo sistemático, dado su carácter de cuerpo complejo y estructurado. Se ha desterrado ya, y de forma definitiva, la pobreza y vacío conceptuales a que se encontraban sometidos los antiguos pensadores; a pesar de ello, todavía perduran las concepciones simplistas de la Ciencia, ilustradas por el Empirismo Baconiano (15), concepción esta última más filosófica que científica, dado que Francis Bacon nunca se dedicó a la verdadera investigación.

Las interpretaciones imperfectas de los métodos y procesos científicos han contribuido a desarrollar la moderna mitología de la transferencia de los mismos a campos y áreas tradicionalmente ajenos a la ciencia. Con todo lo dicho quizá haya quedado suficientemente claro que el método científico es algo más que una simple recogida y análisis de datos. No puede hablarse de verdadera ciencia sin un conjunto de leyes y teorías empírica y deductivamente construidas que sirvan de guía a la labor investigadora. Las ramas del saber de tipo humanista (la sociología, la psicología y la historia, entre otras) van cobrando poco a poco un carácter crecientemente científico al acercarse a los niveles nomológicos imprescindibles. Pero no basta para ello que utilicen técnicas trasplantadas de otras ciencias, como son el análisis estadístico y la experimentación: es importante la elaboración de modelos y el planteamiento de leyes empíricas, la validez de los cuales sería puesta de manifiesto mediante la *realización y comprobación de predicciones*.

II.4. OBJETIVISMO Y SUBJETIVISMO EN LA CIENCIA

Existe una cuestión a la que no se ha encontrado satisfactoria respuesta, y que ha sido a lo largo del siglo actual origen de ardorosa y constante polémica. Esta cuestión es muy amplia y tiene numerosas ramificaciones, algunas de las cuales son analizadas en este apartado. Puede, sin embargo, sintetizarse en la siguiente pregunta: ¿Hasta qué punto la Ciencia nos facilita el descubrimiento de *la verdad* del Universo, o, por contra, está íntimamente inserta en la psicología del hombre y tiene, por consiguiente, un cierto *carácter subjetivista* que no debe despreciarse? Dicho con otras palabras: ¿Las construcciones que nos brinda el saber de origen científico —leyes, teorías, modelos— tienen una entidad existencial que las aproxima a la verdad, o son más bien marcadamente subjetivas al proceder de la actividad intelectual humana?

Antes de intentar discutir algunas de las respuestas planteadas a esta cuestión, vamos a delimitar las líneas básicas del

pensamiento de la *filosofía operacional*, con objeto de ilustrar un enfoque que ha soslayado abiertamente el problema que nos incumbe aquí. El *positivismo lógico u operacionalismo*, estrechamente ligado con el fenomenalismo o filosofía fenomenológica, y uno de cuyos exponentes históricos de más prestigio ha sido Ernst Mach (16), nos brinda una concepción muy especial de la Ciencia, cuyas características más destacadas son las siguientes:

- El científico trabaja o manipula un conjunto de entes o conceptos básicos, los cuales conviene definir de forma operacional.
- La definición operacional de una magnitud o ente científico lleva consigo la descripción de un *instrumento y de un proceso de medida*. Así, la masa gravitatoria puede medirse con una balanza; la fuerza con un dinamómetro; la intensidad de corriente, con un amperímetro; la densidad con una balanza de Mohr, o bien con una balanza y un medidor de volúmenes, dado que se trata de una magnitud compuesta; etc. Sería quizá conveniente ampliar esta concepción, y sustituirla por la descripción de un instrumento y un *proceso de observación*. De esta forma sería posible incluir dentro del ámbito científico, por ejemplo, determinadas ramas de la psicología que han aventurado la construcción de conceptos, modelos y teorías más de tipo cualitativo que cuantitativo.
- Las ciencias experimentales abordan el descubrimiento de *leyes de validez amplia*, las cuales se expresan como relaciones cuantitativas entre variables que han sido operacionalmente descritas.
- Las construcciones teóricas realizadas por los científicos son, en realidad, *descripciones sintéticas* de resultados experimentales, y no conviene aventurar la hipótesis de una existencia real de las mismas, ni interesa al operacionalista tampoco plantearse el dilema del carácter ontológico o existencial de los entes que utiliza.

Para los positivistas, por consiguiente, la base del conocimiento científico la constituyen las *medidas*. Esta afirmación solamente puede admitirse, como ha expresado el profesor Palacios (17), cuando se trata de descubrir leyes expresables en forma cuantitativa y matemática. Ya antes aludimos a la conveniencia de sustituir «procesos de medida» por «procesos de observación», con o sin ayuda de instrumentos. Son fuentes de conocimiento importantes, también, los procedimientos deductivos, los cuales permiten reelaborar los descubrimientos experimentales y construir modelos y teorías (aunque la existencia real de dichos modelos haya sido despreciada por los operacionalistas). Es ampliamente conocida la polémica Mach-Planck, siendo Planck uno de los oponentes más furibundos a la filosofía positivista u operacional. En palabras de Planck, reproducidas por el profesor Palacios (18):

«Las opiniones de los positivistas no pueden ser combatidas desde un punto de vista lógico, y, sin embargo, un examen detenido de las mismas revela que son inadecuadas y estériles, porque prescinden de una circunstancia que tiene importancia decisiva para el progreso científico. Por mucho que alardee el Positivismo de estar exento de prejuicios, tiene que partir de una premisa fundamental si no quiere degenerar en un solipsismo ininteligible. Tal premisa consiste en que toda medida física puede ser reproducida de tal modo que el resultado es independiente de la personalidad del observador, del lugar y tiempo en que se efectúa la medición, y de cualquier otra circunstancia. Todo esto revela, simplemente, que el factor decisivo para el resultado de la medición está fuera del observador y que, en consecuencia, *las medidas plantean problemas que implican conexiones causales en una realidad independiente del observador*» (el subrayado es nuestro).

En una línea semejante a la de Planck se han movido las frecuentes críticas de Einstein a la filosofía operacional. Para ambos científicos, los entes y estructuras engendrados por la

ciencia nos dicen algo más acerca del mundo que lo que implicaría una simple descripción de fenómenos a partir de variables definidas operacionalmente (por muy condensada o reestructurada que estuviese dicha «descripción» en forma de modelos abstractos). ¿Por qué no —se preguntan— han de ser los electrones y los campos de fuerza tan reales como son un árbol, un mineral o una obra manufacturada? Ambos otorgan a la Ciencia la capacidad de descubrir entidades ocultas a una percepción directa, pero reales, y de localizar verdaderas relaciones de causa-efecto. Es de sobra conocida la tradicional oposición de Einstein a los principios probabilísticos y estadísticos de las descripciones mecano-cuánticas («Dios no juega a los dados», es su célebre afirmación a este respecto), así como su esfuerzo permanente y no muy fructífero por construir una amplia teoría determinista del «campo unificado». Este esfuerzo le ocupó la mayor parte de su vida: desde 1915, fecha de la publicación de su Teoría General de la Relatividad, hasta el final de sus días.

Es, con toda probabilidad, conveniente adoptar una postura intermedia entre ambas líneas de pensamiento, que haga uso de los aspectos positivos de ambas. La corriente operacional se acerca a nuestra afirmación previa de que al científico no le preocupa tanto discutir y afirmar la verdad o falsedad de sus construcciones lógicas, como su validez y campo de aplicabilidad. Es relevante, en este sentido, recordar que la teoría atómica ha sido un motor fundamental del desarrollo de las ciencias físicas (tanto de la Física como de la Química) a lo largo del siglo XIX, *cuando la existencia real de los átomos no pudo ser empíricamente demostrada*. Se trataba, en realidad, de una hipótesis de trabajo elaborada a partir de las ideas originales de Dalton que expusimos anteriormente. Hubo que esperar al siglo actual, con sus modernos sistemas de detección de partículas, así como con la explicación de Einstein al movimiento browniano a partir de choques interatómicos de distribución estadística, para que la existencia real de los átomos quedara definitivamente constatada.

La verdadera naturaleza de las teorías científicas hay que buscarla en su fertilidad y fecundidad interpretativas y predic-

torias. En esto se diferencian de las explicaciones de orden mitológico, y también de las de orden filosófico y metafísico, que intentan sondear en el misterio de las causas finales, y de los orígenes y motores remotos. Este tipo de interpretaciones, por regla general, no preocupan al científico, dado que no están dotadas de los necesarios resortes y mecanismos para ponerlas a prueba (mediante la extracción de predicciones, en la línea defendida por Popper, y que se analizó anteriormente). Queda, sin embargo, para la Filosofía de la Ciencia escudriñar en el carácter epistemológico y ontológico de las interpretaciones científicas, problema que no atañe o incumbe directamente a la mayoría de los investigadores prácticos.

Un análisis filosófico que discurre por cauces fuertemente subjetivistas, y que ha dado origen a una interesante polémica a lo largo del último decenio, ha sido el desarrollado por Thomas Kuhn. Las opiniones más destacadas, recogidas por Kuhn en su libro *La estructura de las revoluciones científicas* y en el cual expone su concepción de *la Ciencia como investigación paradigmática* (19), son las siguientes:

- El avance y crecimiento de las ciencias no es continuo e inalterado, sino que se alternan en el mismo una serie de períodos denominados «normales» (*Ciencia Normal*), con otros que suponen una notable ruptura o solución de la continuidad previa (*Revoluciones Científicas o Ciencia Revolucionaria*). Ejemplos de revoluciones conceptuales serían: la de Copérnico, de Newton, de Darwin, la de Dalton, etc.
- La naturaleza de la Ciencia Normal es semejante a lo que antes denominamos empirismo sistemático. No existen, en este sentido, datos o hechos neutros, sino que la observación viene condicionada por el conjunto de *paradigmas* compartidos por la comunidad de científicos dedicada a la investigación dentro de un área concreta. De acuerdo con Kuhn (20), estos paradigmas están integrados por los siguientes elementos:
 - a) Generalizaciones simbólicas aceptadas previamente; es decir, las leyes, las generalizaciones y los principios.

- b) Paradigmas metafísicos: modelos, teorías, analogías y metáforas.
- c) Valores científicos aceptados: consistencia interna y externa de las interpretaciones, simplicidad y plausibilidad de las mismas, etc.
- d) Paradigmas propiamente dichos, o en sentido estricto (como son: ejemplos, problemas, aplicaciones, ejercicios, etc.), con que se enfrenta el estudiante de ciencias, y que constituyen parte esencial de su proceso de formación.

- A lo largo de un período «normal», el conjunto de paradigmas aceptado por los científicos ilumina y dirige la labor investigadora, a través de la cual se pretende fundamentalmente articular y perfeccionar el sistema estructural constituido por dichos paradigmas. La validez de éstos, sin embargo, no es puesta en duda o, por lo menos, no se plantea en estos períodos la necesidad de sustituirlos por otros.
- El descubrimiento de hechos y sucesos que contradigan alguno de los paradigmas existentes no supone forzosa-mente el abandono del mismo. *Solamente en el caso de que se localicen paradigmas más fructíferos y de mayor valor interpretativo que los antiguos son estos últimos rechazados.* Aun en este caso, sin embargo, puede tener lugar una coexistencia de varios paradigmas conflictivos durante un cierto período de tiempo, hasta que la comunidad de científicos llega a un nuevo consenso, y acepta uno determinado. Este cambio de paradigmas es lo que Kuhn denomina una *Revolución Científica*, o replanteamiento drástico en las bases del sistema conceptual de una determinada rama de la ciencia. No se puede hablar, por lo tanto, de teorías falsas o ciertas de forma absoluta, sino de teorías más o menos válidas dentro de un determinado período en la evolución histórica de las ciencias.
- Las revoluciones científicas no están dotadas de una estructura lógica fácilmente perceptible. Sin embargo,

constan de una cierta estructura, dado que la existencia de crisis al final de un período normal (descubrimiento de hechos y datos que no se ajustan a los paradigmas existentes) conduce necesariamente a la gestación de un nuevo período revolucionario. *Una nueva teoría, sin embargo*, según Kuhn, *no se impone por convicción o demostración de su validez, sino por conversión y aceptación como «acto de fe» por los científicos relacionados*. De ahí el carácter fuertemente subjetivista de la interpretación de Kuhn. Estas revoluciones conceptuales, dado que no son lo «lógicas» que tradicionalmente cabría esperar, se deben a, o son la creación de una serie de figuras geniales o científicos sobresalientes. Son el resultado de una «intuición» o visión genial, a la que Kuhn denomina «cambio de Gestalt» o percepción, inspirándose en la psicología gestática de Köhler (14).

Las nuevas teorías y nuevos paradigmas son *lógicamente inconmensurables* con los antiguos. En este sentido, y siguiendo a Kuhn, «después de una revolución conceptual, los científicos viven en un mundo diferente», dado que los mismos hechos y observaciones son analizados a la luz de interpretaciones teóricas distintas. De ahí su afirmación en el sentido de que los cambios paradigmáticos se pueden comparar con conversiones y actos de fe: normalmente los científicos que aceptan los paradigmas anteriores tienden a fijar su atención en los hechos y datos que los confirman, y no en los que los refutan.

Sería falso, siguiendo esta línea de pensamiento, decir que las antiguas teorías pueden considerarse como «derivaciones» por tendencia al límite de las modernas. En este sentido sería incorrecto decir, por ejemplo, que las leyes de Newton pueden obtenerse de las de Einstein por tendencia hacia infinito de la velocidad de la luz o, lo que es lo mismo, para velocidades pequeñas de los cuerpos móviles. La mecánica relativista comporta, en realidad, un cambio sustancial en la concepción de las magnitudes físicas fundamentales (espacio, tiempo, masa, fuerza),

aunque siga haciendo uso de la misma terminología que la mecánica newtoniana. De acuerdo con esto, un físico «clásico» no podría llegar a un consenso con un físico relativista, dado que utilizan ambos los mismos términos, pero con significados y connotaciones distintas.

La interpretación de Kuhn tiene un cierto carácter dialéctico, al hacer intervenir una lucha u oposición entre paradigmas contrarios, inconmensurables y excluyentes. Encierra, qué duda cabe, ciertas ideas y conceptos de validez demostrable, así como otros que han encendido una polémica no concluida, dado su carácter más filosófico que científico. Está claro que existen rupturas o revoluciones (valgan estos términos adoptados de la terminología socio-política) que suponen un discurrir *completo y turbulento* de las ciencias, pero el carácter de aquéllas se ha situado en el centro de amplias discusiones y diatribas, no habiéndose llegado todavía a un consenso universal aceptable.

Algo de verdad contiene la hipótesis de Kuhn relativa a la «conversión» de los científicos a nuevas teorías, más bien que su aceptación ante pruebas concluyentes. No olvidemos, en este sentido, las notables dificultades con que han tropezado inicialmente las ideas de Copérnico, Galileo, Dalton, Mendel y otros, antes de encontrar una masiva aceptación, dado su carácter revolucionario y su oposición manifiesta a las ideas y concepciones vigentes en la época. Y esto ha ocurrido incluso cuando los nuevos paradigmas *se apoyaban sobre observaciones fidedignas y objetivas*. Pensadores de prestigio ha habido que se han opuesto abiertamente a algunas de las nuevas doctrinas, siendo de destacar los casos de Bertholet y de Mach ante la teoría atómica, el de Lord Kelvin ante la teoría electromagnética, el de Priestley ante la teoría de Lavoisier de la combustión, la oposición de Mach a la mecánica relativista, la de Lysenko a la teoría mendeliana, etc. Incluso el propio Einstein se opuso de forma decidida a las nuevas interpretaciones probabilísticas mecano-cuánticas. La teoría del flogisto no fue abandonada en su época, incluso encontrándose en abierta contradicción con algunas observaciones, hasta que Lavoisier

construyó su teoría de la combinación con el oxígeno; es falso, en este sentido, lo que aseguran muchos libros de texto elementales relativo al descubrimiento, por vez primera a partir de las investigaciones de Lavoisier, de desacuerdos de tipo cuantitativo que «motivaron» la caída de las ideas flogísticas.

Sin embargo, y aquí cabe encontrar el aspecto más sobresaliente de la actividad científica, y el que le ha dado su carácter acumulativo en contraste con otras actividades intelectuales, las oposiciones acaban siendo vencidas y *un nuevo consenso universal surge necesariamente*. El desarrollo de las ciencias encierra una cierta lucha o antagonismo entre ideas encontradas, pero es un desarrollo inexorablemente creciente y acumulativo. He aquí su más grande valor y su característica más acusada. La estructura de las revoluciones científicas encierra un cierto carácter «lógico», cuando permite este avance positivo y no regresivo.

Israel Scheffler (21) ha elaborado una interpretación objetivista de la naturaleza de la Ciencia, oponiéndose de forma abierta y decidida a las ideas de Kuhn, antes expuestas. Scheffler rechaza de plano la afirmación, antes expresada indirectamente, de que «la competición entre paradigmas no pertenece al tipo de batallas que pueden resolverse mediante *pruebas*». *Es precisamente en la existencia de pruebas* (no de verdad-falsedad absolutas, pero sí de validez) *donde radicaría la Objetividad de la Ciencia*. No se admiten aquí triunfos o aceptaciones basadas en la personalidad o el prestigio de quien los reclama. La oposición de tipo religioso o político está condenada al fracaso más estrepitoso si no se apoya sobre observaciones, predicciones y tests experimentales; pensemos, por ejemplo, en el famoso proceso a Galileo, así como en el «caso Lysenko» en la Unión Soviética, al cual aludimos en el siguiente capítulo. Las teorías más fructíferas y válidas, en el sentido de Popper, acaban imponiéndose tarde o temprano.

Aunque exista una oposición entre paradigmas, es posible recurrir al proceso observacional para dirimirla. Probablemente no vaya muy desencaminada la afirmación de Kuhn de que los instrumentos, y la interpretación que se haga de las observaciones realizadas con ellos, se encuentran mediatizados y

«contaminados» por los paradigmas y concepciones del investigador y del diseñador. Pero no conviene llevar esta afirmación hasta el extremo de despojar a la ciencia de sus resortes de comprobación de predicciones y de objetivación de las medidas.

La idea del *control objetivo* de teorías y de la posibilidad de dirimir sobre bases realistas ideas contrapuestas se encuentra profundamente entroncada en diferentes líneas filosóficas (el Realismo, el Pragmatismo y el Positivismo Lógico, entre otras). Todas ellas reafirman la existencia de un acceso común a un mundo objetivo, independiente del observador, así como de unas vías abiertas de discusión y contraste de opiniones, aun cuando las terminologías utilizadas estén teñidas por las propias concepciones de los oponentes. Es importante confiar en el carácter objetivo de la evolución científica, aun cuando tampoco deben despreciarse gran parte de las reflexiones expresadas por Kuhn, dado que, como manifestamos anteriormente, *es el hombre quien crea la ciencia y quien construye y pone a prueba sus interpretaciones*. La polémica objetivismo-subjetivismo encierra un interesante carácter dialéctico, y conviene tener presentes las diferentes aportaciones conceptuales de la misma. Parte de la bibliografía incluida al final de este capítulo, así como en la recopilación final del capítulo 13.º, puede ayudar al lector a construirse una síntesis personal y a avanzar más en esta línea, solamente apuntada y ligeramente bosquejada en los párrafos anteriores.

II.5. ASPECTOS DIDACTICOS DE RELEVANCIA PARA LA ENSEÑANZA CIENTIFICA

En este apartado, brindamos a la consideración del lector algunas reflexiones de base en relación con las implicaciones didácticas de la naturaleza de las ciencias. Como es lógico, parte de los puntos aquí presentados tienen un tratamiento más detallado en otros lugares del libro.

En primer lugar, consideramos de la máxima importancia transmitir a los escolares una *imagen fiel* de la ciencia, así

como de las características esenciales de sus componentes estructurales. La comprensión de la naturaleza dinámico-evolutiva del quehacer científico se está imponiendo cada vez más como un objetivo fundamental a conseguir en la enseñanza, dado que es contraproducente justificar la transmisión de ciertos conceptos si se hace ésta de forma falsa o distorsionada. Numerosas investigaciones (22) han puesto de manifiesto, en este sentido, la miopía acusada con que la mayoría de los estudiantes observan el proceso científico: su naturaleza y características, la función y carácter de los modelos interpretativos, el papel que juegan las teorías y paradigmas, la distinción entre hipótesis, leyes y teorías, la naturaleza y manipulación de los datos empíricos, etc. Se ofrecen detalles didácticos adicionales en relación con este problema en los capítulos 6.º, 8.º y 12.º.

Se evidencia también, y de forma acusada, una lamentable falsificación de la naturaleza y las componentes de la ciencia en gran parte de los *libros de texto* existentes (dejando aparte los errores conceptuales que puedan encerrar). Y esto no solamente ocurre con los destinados a los niveles básicos y secundarios, sino también en los de nivel universitario y los especializados. Schwab (cf. su libro anotado en la referencia 8) ha afirmado en relación con este punto:

«Es la casi total ausencia de una *imagen adecuada* de la actividad científica lo que subraya la mayor disparidad entre *la ciencia como es*, y *la ciencia como es vista a través de la mayoría de los libros de texto*: Se presentan conclusiones de investigación como si fueran hechos ciertos o casi ciertos. Además, raramente se acentúa su relación con los datos aislados e independientes. Su coherencia y organización —las marcas definitorias del conocimiento científico— son subestimadas u omitidas. Y apenas se tiene la oportunidad de distinguir los otros constituyentes de la indagación científica: los principios organizadores, los datos, y la interpretación de éstos.»

Un objetivo educacional de gran relevancia, como es el de divulgación, popularización y transmisión de conceptos científicos (cf. los capítulos 3.º y 4.º) ha chocado tradicionalmente con un problema de difícil solución, y al cual ha aludido agudamente Toulmin (6): el lego de la ciencia desea informarse acerca de las teorías científicas en un *lenguaje* que pueda comprender, y también de forma breve y simplificada. Estas dos demandas están llamadas, sin embargo, a chocar en la práctica, dado que la terminología y la simbología son insoslayables, y su exclusión no puede hacerse sin aumentar la multiplicidad y detalle de las explicaciones. Este último requisito se contrapone con el de sencillez y brevedad, y de ahí la dificultad de llevar a efecto las demandas anteriores. Se impone la necesidad de buscar modos didácticos nuevos, y enfoques adecuados para transmitir al alumno, incluso en los niveles elementales, una imagen tan fiel como sea posible de los conceptos científicos.

Es importante reflexionar aquí sobre un frecuente defecto didáctico, al cual ya hemos aludido anteriormente en este mismo capítulo. Se acostumbra a presentar los modelos y las teorías disociados de las observaciones y la fenomenología que han conducido a su construcción (cf. el capítulo 6.º). Como creemos haber dejado claro a lo largo de este capítulo, las teorías *no tienen sentido por sí mismas*, sino en relación con los hechos que interpretan y las predicciones que facilitan. Esta situación ha acarreado una notable confusión en los escolares entre el conocimiento de origen puramente experimental y empírico, y el conocimiento de tipo conceptual y deductivo; es decir, entre leyes y principios de orden fenomenológico y los modelos interpretativos.

Por último, es de interés reflexionar cómo diferentes concepciones de la ciencia han conducido a interpretaciones diferentes del proceso didáctico de la misma (23). Así, la concepción de la ciencia como un conjunto organizado de conocimientos (Spencer) ha influido poderosamente sobre la existencia de libros de texto *de naturaleza estática y concluida*, en los que no se refleja el carácter evolutivo y dinámico de la ciencia, ni el tipo de procesos y métodos que la nutren. Las concepciones

empiristas —empirismo sistemático y empirismo racional— han sido tenidas en cuenta en algunos proyectos modernos llevados a cabo en los países anglosajones en el plano didáctico (cf. capítulos 11.º y 12.º). En estos proyectos se intenta, normalmente, transmitir una imagen adecuada y realista de los conceptos incluidos, así como educar hábitos de razonamiento e investigación de los escolares, explotando de esta manera las posibilidades educativas de la enseñanza científica. Se busca, en este caso, una mejor síntesis entre la naturaleza de la ciencia y los enfoques pedagógicos utilizados en su enseñanza. Finalmente, la concepción paradigmática tiene un carácter marcadamente histórico-filosófico y ha incidido sobre algunas tendencias recientes de tipo humanístico, que han dado cabida en algunos programas a las componentes psicológicas y metafísicas del edificio científico.

11.6. RESUMEN DEL CAPITULO

A lo largo de este segundo capítulo se realiza un análisis estructural y filosófico de las distintas componentes del proceso científico. Con este análisis se quiere hacer ver claramente el carácter dinámico y evolutivo de la ciencia, presentándose para ello diferentes enfoques metodológicos y de investigación. Se contrapone este carácter a la imagen acabada y estática que ofrecen gran parte de los libros de texto existentes, en los cuales se recogen con prioridad o casi exclusivamente los *productos* (leyes, teorías, aplicaciones), mientras que los *procesos* (modos de trabajar y carácter epistemológico de los contenidos) son relegados a un segundo término o, casi siempre, ignorados.

De igual manera, se inicia una discusión en torno a la naturaleza objetivista-subjetivista de las construcciones conceptuales científicas. Es decir, se plantean algunos puntos básicos y polémicos en relación con el caminar de la ciencia hacia la «verdad», una verdad objetiva e independiente del observador. Simultáneamente, se quiere también sembrar un cierto grado de incertidumbre y escepticismo, dado que los modelos y teo-

rias son, a lo largo de la historia, sustituidos por otros basados en paradigmas y concepciones distintos.

Finalmente, se extraen algunas conclusiones pedagógicas y didácticas relacionadas con los puntos antes expresados, enfocadas sobre una enseñanza científica de mejorada calidad.

CUESTIONES DE APLICACION Y AUTOEVALUACION

1. En un reciente estudio sobre las aberraciones y distorsiones de la imagen de la ciencia que ofrecen muchos libros de texto elementales, se han planteado algunas recomendaciones de interés, que recogemos aquí (24):

- Los libros de texto de ciencias para los grados básicos o primarios deberían explorar algunas cuestiones a las que la ciencia moderna no puede dar todavía una contestación.
- Los profesores, en lugar de invocar siempre respuestas, deberían ocasionalmente pedir a los alumnos que se formularan preguntas y cuestiones a las cuales no sepan dar respuesta.
- Convendría que los libros de texto presentasen algunos de los fracasos y frustraciones de los científicos, y no solamente sus éxitos y descubrimientos positivos.

Justifique y critique estas recomendaciones a la luz del material presentado en este capítulo. Procure descubrir las limitaciones de las mismas así como las dificultades estructurales y metodológicas para llevarlas a la práctica. Intente la programación de una unidad didáctica, o de un periodo de clase, en la que se procure desarrollar una imagen crítica y realista de las limitaciones de la ciencia.

2. Localice, en el libro o libros de texto y consulta que utiliza normalmente, los puntos flacos que se esconden, en relación con la transmisión de una imagen fiel del proceso científico. Realice un análisis estructural (de acuerdo con las

interrelaciones y secuencias existentes) de las leyes, hipótesis, teorías, etc., que contengan algunas de sus lecciones y capítulos más importantes.

3. Discuta las afirmaciones siguientes:

- La enseñanza de las ciencias debería dejar margen suficiente para la ambigüedad y la paradoja, sin centrarse exclusivamente en lo «cierto» y «comprobado».
- La invención y planteamiento de problemas y cuestiones es tan o más creativo que la resolución de los mismos.
- Sin el uso del laboratorio escolar no es posible transmitir una imagen adecuada de la naturaleza de la ciencia (cf. capítulos 6.^o, 7.^o y 8.^o).

4. Critique los puntos débiles y localice los fallos y falacias en las siguientes afirmaciones:

- Los hechos científicos, y las observaciones, son neutros, o lo que es lo mismo: cualquier investigador y persona de «sentido común» apreciaría de forma similar su carácter y significado.
- El proceso científico es fundamentalmente de carácter empírico e inductivo: procede de datos y fenómenos hacia los modelos y las interpretaciones.
- Las teorías actualmente aceptadas son ciertas y correctas, mientras que las antiguas, ya superadas, constituían un conjunto de falsedades e incorrecciones.
- Cuando se descubre un proceso o hecho que contradice un determinado modelo o teoría, este último es sistemáticamente rechazado.
- El investigador se esfuerza por descubrir hechos y sucesos que entren en contradicción con los modelos aceptados en su época (cf. las ideas expresadas por Thomas Kuhn).
- Es posible, mediante la adecuada experimentación, demostrar la certeza de una determinada teoría o paradigma.
- Es absurdo afirmar que la teoría atómica no fue construida hasta el siglo XIX: de hecho, los atomistas griegos

ya se habían forjado una idea coherente y científica al respecto.

5. Diseñe y construya una prueba de evaluación que le permita constatar los errores conceptuales de sus alumnos en relación con la naturaleza de la ciencia y la de sus componentes, y seleccione una estrategia didáctica para poner remedio a los mismos.

6. De acuerdo con Karl Popper, «la verdad emerge más fácilmente del error, que de la confusión». Localice una serie de razones que justifiquen esta afirmación, y busque ejemplos concretos sobre este punto en algún libro de historia o filosofía de la ciencia.

7. Analice con detalle el armazón estructural de algunas de las leyes y modelos científicos más conocidos (por ejemplo: la Segunda Ley de Newton; el principio de inercia de Galileo; la Ley de Boyle-Mariotte, etc.). Localice las observaciones, así como los experimentos, sobre los que se apoyan. ¿Qué tipos de abstracción, especulación o simplificación comportan, en relación con el complejo comportamiento de la naturaleza que podemos apreciar a nuestro alrededor? ¿Qué relaciones tienen con otras teorías y leyes?

REFERENCIAS

(1) BERNAL, J. D. *Historia social de la ciencia*, Vol. I, pp. 26-27. Eds. Peninsula, Barcelona, 1967 (traducción de la 2.^a Ed. inglesa: *Science in History*, The M.I.T. Press, 1964).

(2) WHEWELL W. *Philosophy of the Inductive Sciences*, Londres, 1840.

(3) PARIS, C. «Hacia una epistemología de la interdisciplinaridad», en *La Educación Hoy*, Vol. 1, Núm. 3, pp. 117-128, Barcelona, 1973.

(4) CONANT, J. B. *On Understanding Science*, New American Library, 1951, pág. 1.

(5) Adaptado del incluido en A. A. Carin, R. B. Sund: *Teaching Science Through Discovery*, 2.^a Ed., Charles Merrill, Pub. Co., Columbus, Ohio, 1970, pág. 14 (existe traducción de la 1.^a Ed.: *La enseñanza de las ciencias por el descubrimiento*, UTEHA, México, 1967).

(6) TOULMIN, Stephen. *Foresight and Understanding: an Inquiry Into the Aims of Science*, Harper & Row, Nueva York, 1963.

(7) Adaptados de los incluidos en WEATHERALL, M.: *Scientific Method*, The English Universities Press, Londres, 1968, pp. 12-13.

(8) MENDEL, Gregor. «Experimentos en hibridación de plantas» (1865-66), reimpresso por la Harvard University Press, 1950 (citado por J. J. Schwab en *The Teaching of Science*, Harvard University Press, 1962, página 83).

(9) TOULMIN, S. *The Philosophy of Science: An Introduction*, Harper & Row, Nueva York, 1960.

(10) *Ibid.*, pp. 24-28.

(11) FERNANDEZ GONZALEZ, M. *Introducción a la Química Superior*, Vol. I, Ed. Anaya, 1973, pp. 11-12.

(12) POPPER, Karl. *La lógica de la investigación científica*. Ed. Tecnos, Madrid, 1973 (traducción de la edición original por Ed. Springer, Viena, 1935).

(13) BRIDGHAM, Robert G. «Conceptions of Science and Learning Science», en *School Review*, núm. 78, nov. 1969, pp. 25-40.

(14) Cf. por ejemplo sus obras *The Mentality of Apes* (publicada por vez primera en inglés por Brace and World, 1925), y *Gestalt Psychology* (Liveright, Nueva York, 1929), ampliamente publicadas y traducidas desde sus primeras ediciones.

(15) BACON, Francis. *Novum Organum* (publicada por vez primera en el siglo XVII). Una edición moderna bastante conocida es la de Ed. Bobbs-Merrill, 1960.

(16) Cf., por ejemplo: MACH, Ernst. *The Science of Mechanics*, The Open Court Pub. Co., 1960 (Ed. original en 1883). Existe traducción castellana por la Ed. Espasa-Calpe.

- (17) PALACIOS, Julio. *Análisis Dimensional*, 2.^a Ed., Espasa-Calpe, Madrid 1964, pp. 14-15.
- (18) PLANCK, Max. *Scientific Autobiography*, Londres, 1950 (citada por Julio Palacios, *op. et loc. cit.*).
- (19) KUHN, Thomas. *The Structure of Scientific Revolutions*, 2.^a Ed., International Encyclopedia of Unified Science, Vol. II, núm. 2, The University of Chicago Press, 1970 (1.^a Ed., de 1962). Existe traducción al castellano, por F.C.E., México.
- (20) *Ibid.*, pp. 181-191.
- (21) SCHEFFLER, Israel. *Science and Subjectivity*, The Bobbs-Merrill Co., Nueva York, 1967 (especialmente pp. 1-19 y 75-89).
- (22) Cf., por ejemplo, Mc KAY, L. D. «Development of Understanding about the Nature of Science», en *Journal of Research in Science Teaching*, Vol. 8, núm. 1, 1971.
- (23) FERNANDEZ URÍA, E. «La naturaleza de las ciencias experimentales: implicaciones didácticas», en *Bordón* (Revista de la Sociedad Española de Pedagogía), núm. 207, marzo-abril 1975, pp. 103-114.
- (24) BABIKIAN, E. «An Aberrated Image of Science in Elementary School Science Textbooks», en *School Science and Mathematics*, Vol. LXXV, núm. 5, mayo-junio 1975, pag. 460.

BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTARIA

- BRAITHWAITE, R. B. *La explicación científica*, Ed. Tecnos, Madrid (Ed. americana: *Scientific Explanation*, Cambridge, Massachusetts, 1953).
- CAPEK, M. *El impacto filosófico de la física contemporánea*, Ed. Tecnos, Madrid, 1965 (ed. orig. por D. van Nostrand, Princeton, 1961). Se hace un excelente análisis de las influencias que han ejercido las modernas revoluciones conceptuales en el campo de las ciencias físicas sobre las concepciones filosóficas del espacio y del tiempo, de la materia, etc.
- CONNELLY, F. M. «Logical Reasoning in Science Education», en *Theory Into Practice*, Vol. XII, núm. 5, dic. 1973, pp. 278-280. Se estudian las posibles implicaciones de la filosofía de la ciencia sobre la estructuración y programación del curriculum científico (cf. capítulo 9.^o).
- HERRON, M. D. «The Nature of Scientific Enquiry», en *The School Review*, núm. 79 febrero 1971, pp. 171-212. Este trabajo ha ejercido una marcada influencia a lo largo de los últimos años. Se estudian en él varios proyectos curriculares de la enseñanza científica en los niveles medios, y se analizan a partir de diversas concepciones de la naturaleza filosófica de la ciencia.
- LAKATOS, I.; MUSGRAVE, A. (eds.) *La crítica y el desarrollo del conocimiento*, Barcelona: Grijalbo, 1975, 520 pp. (ed. original en Cambridge, Mass., 1970). Se incluyen un conjunto de excelentes ensayos en torno a la epistemología de la ciencia.

- MARGENAU, H. *La naturaleza de la realidad física*, Ed. Tecnos, Madrid, 1970 (Ed. inglesa por Mc Graw Hill, 1950).
- MARTIN, Michael. *Concepts of Science Education: A philosophical Analysis*, Scott, Foresman & Co., Glenview, Ill., 1972. Excelente tratado sobre las relaciones entre la filosofía y la naturaleza de la ciencia, y el proceso educativo.
- NAGEL, Ernst. *La estructura de la ciencia*, 2.ª Ed., Paidós, Buenos Aires, 1974 (ed. orig. por Harcourt and Brace, Nueva York, 1961). Obra ya clásica, en la que se estudia el proceso científico desde un punto de vista filosófico.
- ROBINSON, J. T. «Science Teaching and the Nature of Science», en *Journal of Research in Science Teaching*, Vol. 3, pp. 37-50. (1965). Se critican algunas falacias en los enfoques y análisis modernos de la enseñanza científica, a partir de un razonamiento sobre las características de la ciencia.
- TOULMIN, S. (ed.) *Physical Reality*. Harper and Row, Nueva York, 1970. Incluye un conjunto de artículos clásicos en torno al carácter objetivo y subjetivo de las interpretaciones científicas.

En la revista *Teorema*, publicada por el Departamento de Lógica y Filosofía de la Ciencia, de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Valencia, se recogen gran variedad de artículos y trabajos de alta calidad sobre la problemática de la estructura filosófica y conceptual de la ciencia.

III. CIENCIA, TECNOLOGIA Y SOCIEDAD

III.1. RELACIONES Y DIFERENCIAS ENTRE CIENCIA Y TECNOLOGIA

Se aprecia con mucha frecuencia una marcada confusión entre los conceptos de Ciencia y Tecnología. Se suele decir, por ejemplo, que la ciencia ha alterado las condiciones de vida del hombre (influencias socioeconómicas), y se suele denominar «científicos» a personas implicadas más bien en procesos tecnológicos. Creemos importante distinguir con precisión entre ambos términos, dadas las implicaciones didácticas y curriculares que han tenido diferentes concepciones, y dada también la poca claridad existente en relación con este punto.

La distinción más notable cabe encontrarla en los objetivos, y no en los métodos, aunque también en este segundo aspecto existen algunas diferencias. En efecto, la moderna tecnología e investigación industrial utiliza herramientas de cálculo, así como una instrumentación («hardware»), muy similares a las utilizadas por gran parte de los científicos más «puros». Es este un aspecto que, aun teniendo en cuenta las notables matizaciones y condicionamientos prácticos de la tecnología, liga o relaciona en forma creciente ambos campos, y contribuye cada vez más a borrar o difuminar las diferencias. Es importante, sin embargo, y con objeto de dar adecuada precisión a la terminología utilizada, usar cada vocablo en un sentido específico.

Los objetivos de la ciencia se centran en el conocimiento de la Naturaleza, y los de la tecnología en el dominio de la misma. Ya aludimos en otro lugar al origen etimológico de la

palabra ciencia: conocimiento o sabiduría. La tecnología está relacionada con el análisis y dominio de diferentes *técnicas para lograr objetivos prácticos concretos*, y no persigue el saber por el saber mismo, sino en relación con dichos objetivos. Por este motivo, hace uso cada vez más profundo de conocimientos de tipo científico previamente establecidos, o bien busca el descubrimiento de leyes y la construcción de teorías, pero con fines prácticos y no intelectuales. No se trata, de hecho, de buscar razones y argumentos, sino de que los proyectos y diseños funcionen de acuerdo con los objetivos previstos.

Dado el carácter práctico de la tecnología, ha incidido ésta de forma acusada sobre el desarrollo industrial y material de la sociedad. La ciencia, por otra parte, influye más directamente sobre el mundo de las ideas y de los conceptos y, por consiguiente, *sus incidencias socioeconómicas son fundamentalmente de tipo indirecto*. Estas incidencias tienen lugar a través de sus aplicaciones técnicas, o bien de sus implicaciones filosóficas y políticas. Las influencias de la tecnología, sin embargo, tienen un carácter más directo, al referirse a las condiciones materiales de la existencia humana y al dominio de la Naturaleza en beneficio del hombre o de determinadas clases sociales.

Dadas estas diferencias en cuanto a enfoques y objetivos, los desarrollos de ambos campos han sido notablemente divergentes en algunas épocas. En otras, por contraste, han existido puntos de convergencia de gran interés y fecundidad. De acuerdo con Bernal (1), el origen de los primeros conocimientos cuasi científicos cabe localizarlo en el desarrollo de técnicas e instrumentos que permitieron al hombre primitivo un dominio incipiente de su entorno natural. Algunos conceptos básicos hoy en día en el campo científico, como son los correspondientes a las transformaciones energéticas y químicas, los cruzamientos genéticos, etc., tienen su raíz remota en manipulaciones técnicas del entorno: pensemos, en este caso, en la invención del arco y las flechas, en la cocción de alimentos, en el curtido de las pieles y en el desarrollo de la ganadería. *La ciencia, por tanto, debe gran parte de su evolución a la tecnología, pero no toda.*

Algunas ramas científicas han tenido un desarrollo bastante independiente de las técnicas —la astronomía, por ejemplo—, pero solamente en sus fases iniciales. Así, el desarrollo notable de la mecánica celeste a partir del siglo XVII sería inconcebible sin la utilización de telescopios y otros dispositivos instrumentales, como analizamos en el capítulo anterior. Gran parte de la tecnología, de la misma forma, ha crecido y se ha desarrollado por vías independientes de las seguidas por la ciencia: el hombre de todas las culturas ha hecho uso de multitud de instrumentos, de diferente grado de complejidad, no siempre con una comprensión adecuada del origen y causas de su funcionamiento. La alquimia, por poner un ejemplo, ha tenido casi siempre un carácter más tecnológico que científico, dado que su objetivo fundamental ha sido el dominio de los procesos de elaboración de sustancias; el afán por conocer las leyes y principios de la combinación ha jugado un papel más bien secundario que primordial. Se aprecia, sin embargo, una *creciente interdependencia de la ciencia y la tecnología*, como se ha puesto de manifiesto en diferentes ocasiones.

En los últimos siglos las técnicas industriales han embebido de forma irreversible la actividad productiva humana, coincidiendo sobre todo con las llamadas revoluciones, que serían tres, siguiendo a Friedmann (2): la primera revolución industrial, en la cual predominó el uso de la energía térmica, y que tuvo lugar en el siglo XVIII; la segunda (hacia 1880), que supuso la introducción de la electricidad en los procesos de producción, y, por último, la revolución atómica, la cual ha aportado la utilización de la energía de origen nuclear (en las dos primeras, sin embargo, la energía aprovechada tenía un origen remoto fundamentalmente de naturaleza solar). Es más difícil localizar la existencia de revoluciones tecnológicas, dado que el uso de instrumentos técnicos y su mejora paulatina son casi tan antiguos como el hombre mismo. Las antiguas civilizaciones egipcias y babilónicas, por ejemplo, conocieron la utilización de instrumentos y técnicas de producción de variada naturaleza. Remontándonos a épocas más recientes, es imposible concebir determinados eventos históricos (como el descubrimiento de América) sin unos antecedentes técnicos e ins-

trumentales adecuados. Cabría, por consiguiente, diferenciar entre tres tipos de «revoluciones»: las científicas o conceptuales, las industriales o de sistemas de producción y las tecnológicas. Quizá fuese adecuado, en esta línea, diferenciar entre *técnica* y *tecnología* (o conocimiento lógico y razonado de la técnica), aunque en este capítulo usamos las dos palabras en forma indiscriminada.

Se aprecia, por consiguiente, un *desfase relativo* entre las líneas evolutivas de determinadas ramas de la ciencia y de la tecnología a lo largo de la Historia. No se puede decir de forma tajante que sea uno de los dos campos el que haya precedido al otro, puesto que las interrelaciones han sido siempre muy complejas y variadas, y las influencias mutuas han adoptado direcciones distintas en diferentes épocas. En algunos casos, determinados avances tecnológicos han facilitado o posibilitado el desarrollo de estructuras conceptuales científicas; así, la terminología y la química modernas fueron notablemente impulsadas a raíz de la primera revolución industrial, en los años de transición entre los siglos XVIII y XIX. En otros casos, por el contrario, han sido determinados conocimientos científicos previos los que han allanado el camino a avances tecnológicos de importancia; la tecnología aeroespacial moderna, pongamos por caso, se apoya y nutre sobre el conocimiento científico de la mecánica y la hidrodinámica, entre otras ramas.

Como decíamos anteriormente, las interdependencias están creciendo a pasos cada vez más rápidos. Hoy en día, la mayor parte de las tecnologías y de los procesos industriales de producción necesitan o se alimentan de conceptos científicos previamente adquiridos, aunque no siempre de los más abstractos e intrincados. Basta con referirse, en este sentido, a los casos de la Electrónica Aplicada, la Ingeniería Civil, la Química Industrial, la Medicina y la Biología Aplicada. A su vez, el científico utiliza una instrumentación de complejidad y precisión crecientes, de la que no podría disponer en una sociedad con escaso desarrollo industrial y técnico (más adelante analizamos, en relación con este punto, las crecientes dependencias científicas de unos países respecto a otros). Las necesidades de

evolución tecnológica, así como la competencia industrial entre diferentes países y entre empresas dentro de un mismo país, acarrearán consigo una demanda inacabada de saber científico. El esfuerzo industrial moderno, por consiguiente, ha dado un empujón de considerable vigor a la ciencia, lo que ha motivado la distinción entre la «pequeña» y la «gran ciencia» por parte de algunos sociólogos (3).

El tradicional desfase entre saberes científicos y tecnológicos está disminuyendo, de acuerdo con las ideas anteriormente expresadas. A pesar de ello, la mayor parte de la tecnología actual se apoya sobre leyes y modelos científicos desarrollados, en gran medida, una o más generaciones anteriormente. La inmensa mayoría de los conocimientos avanzados sobre Física de Partículas y Física de Alta Energía, por ejemplo, no encuentran en la actualidad ninguna aplicación industrial. En otros casos, por contraste, se han logrado notables avances de orden tecnológico (en la medicina y la electrónica, por ejemplo, si consideramos a la primera como parte integrante del ámbito técnico y aplicado), sin un conocimiento detallado y un consenso unánime sobre las causas y leyes científicas subyacentes. Esta situación ha motivado un cierto descrédito de la investigación en ciencia «pura» a ciertos niveles sociopolíticos, y ha dado un fuerte aldabonazo sobre la necesidad de búsqueda de aplicaciones al saber establecido y acumulado; también se han alzado voces en torno a la conveniencia de destinar más fondos económicos a la investigación aplicada, que es la que, a fin de cuentas, tiene una incidencia más directa sobre el desarrollo social y económico.

A pesar de todo, *la tecnología no tiene una capacidad permanente de autorregeneración*, y necesita cada vez más del conocimiento científico. Sin un saber adecuado de causas y leyes, abocaría la técnica a una miopía creciente en sus zonas de incumbencia, y se perdería la visión amplia y analítica de que tan necesitada está. El conocido pensamiento o afirmación de que «no hay mejor práctica que una buena teoría» tiene gran sentido en el contexto que nos atañe aquí.

III.2. CIENCIA, TECNOLOGIA Y SOCIEDAD

Los esfuerzos científicos y tecnológicos no pueden ser analizados fuera del contexto de unas determinadas sociedades y unas determinadas estructuras filosóficas y políticas; está claro que el desarrollo de la ciencia ha discurrido de forma concordante con el desarrollo social. En este sentido, sería desafortunado estudiar la historia de las ciencias y de las tecnologías, así como la historia social, por separado unas de otras y sin tomar en consideración sus múltiples interrelaciones y dependencias.

Siguiendo a Bernal (1), el desarrollo de la ciencia ha estado íntimamente ligado al desarrollo del capitalismo. Esto es así, en parte, porque los investigadores han necesitado, en todas las épocas, de un conveniente apoyo financiero para llevar adelante su labor, así como de un cierto nivel de reconocimiento del valor social de su trabajo. En diferentes circunstancias, sin embargo, ha sido muy variado el origen de los sustentos económicos utilizados, así como la finalidad de los mismos. Baste reflexionar, en este sentido, sobre los notables avances ocasionados en base a las necesidades militares e industriales, las de prestigio de determinadas sociedades frente a otras, y las de competencia industrial entre empresas.

Como bien ha analizado Jevons (4), las motivaciones y apoyos al esfuerzo científico se pueden centrar en torno a dos amplios campos de objetivos: por una parte está el desarrollo social y tecnológico (ya anteriormente aludimos a las interrelaciones entre la ciencia y la técnica) y, por otra parte, el desarrollo cultural e intelectual. Paladín del primer aspecto ha sido, en el siglo XVII, Francis Bacon, considerado como el «primer hombre de estado de la ciencia». Bacon, en sus *Novum Organum y New Atlantis* (5), realizó un análisis del método científico empírico, así como de las necesidades de organización social y planificación a nivel nacional de la investigación. Dejando aparte sus simplificaciones y errores en el primer punto, es de destacar su contribución en el segundo: su visión intuitiva y profética de la necesidad de planificar convenientemente el

quehacer científico con fines de bienestar material y desarrollo tecnológico.

Defensor de los valores culturales de la investigación puede considerarse a Galileo Galilei, contemporáneo de Bacon, y uno de los iniciadores de la moderna metodología inductivo-deductiva. En su «campana de propaganda cultural» abogó de forma decidida por un apoyo creciente a la labor científica, que puede contribuir al enriquecimiento de la filosofía y de la cultura, así como al destierro de tabúes y supersticiones. Son de sobra conocidos los enfrentamientos suscitados, con este motivo, por parte de miembros de la jerarquía eclesiástica y personas destacadas de su época. Los puntos de vista de Bacon (un estadista) y de Galileo (un científico) no son excluyentes, dado que ambos se dirigen hacia el desarrollo social; la evolución cultural preconizada por Galileo tendría una influencia indirecta sobre el desarrollo de la tecnología y, por consiguiente, de la sociedad.

Los apoyos y el interés en ambos sentidos, el cultural y el económico, han sido siempre consustanciales con el desenvolvimiento de la ciencia. No es ninguna casualidad, en esta línea, que los brotes y crecimientos registrados en determinadas épocas y sociedades coincidieran con determinadas estructuras políticas y económicas, así como religiosas y filosóficas. Generalmente, los intereses que han acarreado esfuerzos y resultados científicos han estado vinculados en gran medida con los de determinadas clases sociales. El desarrollo de la Astronomía en la antigua Babilonia, por poner un ejemplo, cabe localizarlo en las necesidades astrológicas y de predicción de las clases sacerdotales, estrechamente relacionadas y vinculadas con las fuentes de poder político. En la actualidad ocurre algo parecido a algunos niveles, como analizamos más adelante; a un nivel nacional, gran parte de las inversiones en investigación identificables en las grandes potencias (Estados Unidos, la Unión Soviética y, en menor medida, China continental, Inglaterra, etc.) son canalizadas por vías militares, con finalidades de prestigio, hegemonía o defensa.

El desarrollo científico destacado que ha tenido lugar en el Occidente a partir del Renacimiento-barroco (siglos XVI-

XVII) ha coincidido en grandes líneas con el florecimiento del capitalismo, de la burguesía y del liberalismo político. En sus orígenes, por consiguiente, el nacimiento de la «pequeña ciencia» ha estado vinculado al despertar de las *clases burguesas* y de las estructuras económicas de competencia de mercado. También lo ha estado con la creciente *liberalización en el pensamiento* filosófico-religioso, disociándose los roles sociales del sacerdote y del intelectual, y adoptando la ciencia un carácter independiente de la religión y de sus dogmas de tipo metafísico.

Tanto el liberalismo político y religioso (derrocamiento de la sociedad feudal y estamental, e irrupción de los movimientos protestantes), como el capitalismo y el humanismo burgués han jugado un papel de relevancia, por consiguiente, en el nacimiento de la ciencia moderna. Al tomar una situación de privilegio el estudio del hombre y de la Naturaleza, el interés de gran parte de los intelectuales y pensadores se polarizó hacia las ciencias naturales, y los estudios de este tipo crecieron en importancia en las universidades europeas. Tuvo lugar, en relación con este suceso, una disociación entre la «filosofía moral» y la metafísica, y la nueva «filosofía natural». El proceso fue lento, sin embargo, y los primeros brotes de tipo científico cabe localizarlos fuera de los ámbitos universitarios. El saber de tipo empírico y experimental-deductivo comenzó a crecer en importancia y a ser considerado de valor social y cultural, y no solamente por sus incidencias sobre el dominio tecnológico del medio ambiente.

Con todo, la «pequeña ciencia» de los siglos XVI, XVII y XVIII, de la que son figuras representativas Galileo, Kepler, Newton y Harvey, se desarrolló gracias a la labor de hombres independientes y autónomos, aunque en relación y contacto unos con otros, y no a partir de una infraestructura y planificación a nivel nacional. Salvo contadas excepciones, como es la de Kepler, los investigadores solían tener asegurada la subsistencia económica por vías independientes de su actividad científica: o bien pertenecían a la nobleza o bien disponían de posesiones y rentas que les garantizaban un nivel de estabilidad adecuado. No eran, en este sentido, científicos profesiona-

les, como los encontramos hoy en día en todo país desarrollado. Su trabajo estaba garantizado, sin embargo, por el apoyo decidido de amplios estratos de la sociedad burguesa, defensora del liberalismo político, de la libertad de pensamiento y del saber humanístico. Es sintomática, en relación con esto, la creciente popularidad de Galileo en los países del norte de Europa (sucesores de Italia en la hegemonía científica) a raíz de su conocido proceso.

Gran parte de los avances científicos en esta primera época de desarrollo no encontró aplicaciones industriales y tecnológicas hasta transcurrido bastante tiempo. No cabe interpretar, por consiguiente, todo el empuje investigador de estos siglos a partir de necesidades técnicas concretas, sino de un creciente interés por la *filosofía natural*. Es cierto, por poner un ejemplo, que el crecimiento de la Astronomía coincidió en gran medida con el de las técnicas de navegación, las cuales requerían de un conocimiento más preciso de los métodos de localización y trazado de rutas; además, este desarrollo inicial de la Astronomía dio un empuje al conocimiento de la Mecánica en general. A pesar de todo ello, las causas del auge del saber experimental no fueron en sus comienzos de tipo exclusivamente económico e industrial, sino también intelectual y filosófico.

El crecimiento, a lo largo de los siglos siguientes, de la burguesía capitalista acarreó consigo una acumulación irreversible de saber científico. La gran revolución industrial del siglo XVIII aportó un estímulo adicional al esfuerzo investigador, que se extendió con gran rapidez a lo largo de todo el siglo XIX, principalmente en Inglaterra, Francia y Alemania. Las universidades comenzaron a adoptar un papel de relevancia en el ámbito de la investigación, y surgió la figura del *científico universitario*, formado y especializado en las aulas, y dedicado simultáneamente a la docencia en la mayor parte de los casos.

Queda claro, de acuerdo con todo lo dicho hasta este momento, que el capitalismo y la burguesía occidentales han sido resortes básicos en el movimiento inicial y posterior del cuerpo científico. Incluso en el siglo actual, la mayoría de los países en vanguardia del avance científico se encuentran dentro de la

órbita capitalista (pensemos en Estados Unidos, Gran Bretaña, Francia e Inglaterra). Los países socialistas han realizado también un esfuerzo considerable por adaptar sus estructuras en esta dirección, y su contribución al desarrollo de la ciencia es de creciente magnitud. Es importante, en este sentido, precisar y delimitar las características y rasgos esenciales de las estructuras de investigación (tanto en ciencia «pura», como las investigaciones tecnológicas y aplicadas) dentro de los ámbitos capitalistas y socialistas.

El desenvolvimiento tecnológico en la URSS, el cual recibió un decidido estímulo en la época de Stalin a costa de sacrificios y decisiones inimaginables, se ha apoyado y se apoya en gran medida sobre las conquistas anteriores de los países occidentales. En este sentido, no ha surgido de la nada, y, aunque no haya recibido apoyos económicos decisivos del exterior, se ha sustentado sobre conocimientos científicos y tecnológicos ya existentes. Los avances económicos y técnicos en el Occidente han tenido una entidad más autónoma, aunque han aprovechado la existencia de países infradesarrollados para la adquisición de materias primas y la distribución comercial de los productos.

Tanto unos países como los otros necesitan dedicar grandes esfuerzos y porcentajes crecientes de sus PNB a la investigación pura y aplicada. Dejando aparte las necesidades militares y de mantenimiento de posiciones hegemónicas (que, en algunos casos, llegan a cubrir cerca del 50 por 100 de apoyo financiero a la investigación), las áreas tecnológico-industriales están cobrando una importancia creciente en lo que se refiere al volumen de inversión en la mayoría de los países desarrollados. En el ámbito occidental, sin embargo, y debido a la extensión del *capital monopolista* a lo largo del siglo actual, se está acusando un fuerte desfase entre un grupo de países hegemónicos y el conjunto de los países dependientes técnica y científicamente. Cerca del 95 por 100 del esfuerzo investigador se concentra en la actualidad en poco más de una treintena de países, muy pocos de los cuales juegan un papel de primera magnitud. Algunas secuelas de esta situación serían las siguientes (6):

- Acentuación de las diferencias de nivel de las fuerzas productivas. Los países más dependientes se ven prácticamente incapaces de seguir el ritmo acumulativo actual en investigación y desarrollo de los países más adelantados.
- Desequilibrio en la demanda de materias primas.
- Dependencia tecnológica y acentuación del proceso de desnacionalización de la industria.
- Fuga de cerebros hacia los países hegemónicos.
- Un cierto grado de colonialismo cultural.

Mientras existan las tremendas *relaciones de dependencia* científica y técnica que se pueden apreciar hoy en día, se encontrará notablemente dificultada la liberación económica de los países que se incorporan a la órbita de las naciones industrializadas. Las infraestructuras de producción e investigación de dichos países seguirá dependiendo en lo fundamental de organismo multinacionales, y gran parte de sus recursos materiales y humanos serán infrutilizados.

Ante esta realidad se impone arbitrar vías adecuadas de acción político-social (tanto en los aspectos económicos y estructurales como en la vertiente educativa), como han apuntado Bernal, Richta y otros. Entre estas vías convendría destacar las siguientes:

— *Fomento*, a nivel nacional, de una *estructura educativa* adecuada. Es de suma importancia canalizar la formación de porcentajes crecientes de educandos por los derroteros de la investigación pura y aplicada. Esta formación debería conjugar los aspectos técnicos con los crítico-reflexivos, con objeto de crear una conciencia nacional de apoyo a la investigación con finalidades de desarrollo social y cultural. Un planteamiento conveniente de científicos e intelectuales *no se forma de la noche a la mañana*, y de ahí la necesidad de poner en marcha las ideas antes apuntadas.

— *Creciente independización* de la tecnología y la ciencia propias, mediante el decidido apoyo de las innovaciones estructurales que posibiliten este aspecto. Conviene, no obstante, ser realistas y no utópicos en lo que se refiere a la posibilidad de

alcanzar cotas elevadas de independización, dadas las *creciente interrelaciones de unos países con los demás*. Se trataría más bien de alcanzar una mejor nivelación entre las aportaciones de los diferentes países o grupos de países al concierto internacional. Aunque la independencia industrial y de investigación-desarrollo puede ser imposible en determinados aspectos, debido a las diversificaciones y especializaciones nacionales, interesa conseguirla en los puntos más esenciales, al menos en las primeras fases de desarrollo.

— *Absorción de cerebros* del país en proyectos propios, con objeto de evitar dos de los más graves males que acosan a los países en desarrollo: la fuga de intelectuales y el subempleo de los mismos (o bien, su empleo en proyectos de investigación y desarrollo dependientes de/y patrocinados por organismos de países hegemónicos).

— *Planificación* adecuada de las prioridades de investigación, con objeto de que los fondos económicos asignados a la misma no se desparramen o desvíen por caminos inadecuados a las *necesidades sociales*, o se polaricen en áreas de importancia secundaria (el prestigio individual y académico de determinados científicos, por ejemplo). Es este un aspecto en el cual los países socialistas han abierto la brecha, y cuya importancia se ha apreciado también en los países capitalistas coincidiendo con una creciente financiación gubernamental de la investigación. Conviene precisar, no obstante, que la política de investigación científica debe ser *armónica y equilibrada*, sin hipertrofias locales en determinadas áreas. Así, se debe mantener un adecuado equilibrio entre ciencia pura y aplicada, y entre las diferentes zonas de las ciencias.

— *Destierro* del academicismo e idealismo utópico de los sistemas educacionales, y creación de un clima de *realismo y crítica constructiva* que favorezca la inserción de los educandos en una sociedad científico-tecnológica y su adaptación a los cambios que convenga arbitrar en la misma (cf. el capítulo 4.º).

Dada la importancia creciente y el volumen cada vez mayor de los esfuerzos dedicados a la investigación tecnológica, científica e industrial, se impone una planificación adecuada de la

misma, con fines de desarrollo social, cultural y material. Hoy en día el científico no puede trabajar aislado, como acontecía en gran medida antes de la primera guerra mundial, sino en conexión con otros pensadores e integrado en equipos de trabajo. La era de la «gran ciencia» ha irrumpido en nuestro entorno, y la investigación tiende a adoptar una posición más prioritaria y decisiva en el contexto social. Se ha llegado a decir que no es posible una verdadera independencia nacional sin una infraestructura científica y técnica adecuada. Por otra parte, se corre también el peligro, sin una adecuada planificación, de destruir el medio ambiente y el propio ecosistema, del cual el mismo hombre es parte integrante. He aquí el doble filo de la investigación y el desarrollo, y su bipolaridad construcción-destrucción, el cual conviene tener muy presente en las políticas científicas y tecnológicas.

Ante esta situación, no es la mejor vía dejar la toma de decisiones sobre proyectos y prioridades en manos de grupos aislados o de clases sociales determinadas. No cabe duda que la competencia industrial ha sido, y es todavía, un acicate importantísimo de acción en los países más desarrollados, pero esta competencia ha discurrido en numerosas ocasiones por cauces interesados y oportunistas. Conviene potenciar cada vez más la investigación con finalidad de progreso social y cultural, y no dejar que los esfuerzos se desvíen por derroteros de importancia secundaria, aunque fecundos en muchas ocasiones. En el apartado siguiente se discute con más precisión este aspecto.

III.3. EL PAPEL DEL CIENTIFICO EN LA SOCIEDAD

A la sociología de la Ciencia compete el análisis detallado de los aspectos sociales del quehacer científico. Este estudio puede hacerse desde dos puntos de vista (7): el interaccional y el institucional. De acuerdo con Ben-David, el *enfoque interaccional* se centra en los problemas de las interrelaciones entre científicos, de la comunicación entre los mismos y de la transmisión de información. El *enfoque institucional* se dirige hacia

los organismos e instituciones de investigación, y analiza sus condicionamientos sociopolíticos (estudio del contexto en el que están inmersas dichas instituciones).

El primer enfoque considera a los científicos como elementos integrantes de una *comunidad*, concepto introducido por vez primera por Michael Polanyi (8), y reelaborado por Thomas Kuhn en relación con su concepción paradigmática de la ciencia. El estudio de estas comunidades científicas se entronca con el de métodos y procesos de investigación, dado que los problemas de intercomunicación y consenso entre grupos de trabajo no se pueden considerar como disociados o independientes de la metodología. Los elementos integrados en una «comunidad» comparten un conjunto de normas y valores, así como unos objetivos directores, que los identifican y definen en relación con otros grupos profesionales. No nos detendremos aquí en el análisis interaccional, y sugerimos al lector interesado la consulta detallada de las obras de Kuhn.

El enfoque institucional es el que principalmente se considera en los trabajos y tratados de la sociología de la ciencia, que intenta detectar los tipos de influencias ejercidas por diferentes estructuras socio-político-económicas sobre el rendimiento científico, y localizar vías de acción para mejorar y maximizar este rendimiento. Estos estudios hacen uso en gran medida de los métodos de investigación histórica, aunque se apoyan fundamentalmente en la metodología sociológica y de las ciencias sociales en general. Tanto la Sociología como la Economía, la Política, la Historia y la Psicología de la Ciencia son partes integrantes de un conjunto de saberes desarrollados en los últimos años, y que han recibido el nombre genérico de *Ciencia de la Ciencia* (9).

Algunos de los estudios realizados en este campo son de tipo cuantitativo, incluyendo el análisis de los índices de incremento y de las tendencias de desarrollo de la producción científica, y a ellos aludiremos en el capítulo 8.º Diferentes aspectos psicológicos de la actividad investigadora son presentados en el capítulo 6.º, al abordarse el estudio del problema de la creatividad científica, y aplazamos hasta entonces la discusión de los mismos.

Dentro del enfoque institucional de la sociología de la ciencia, cabe distinguir dos líneas de pensamiento, no siempre claramente definidas o delimitadas. Una de ellas podría englobarse dentro de la *sociología socialista*, en sus aspectos más sobresalientes; esta línea encierra una abierta defensa de la planificación de actividades e instituciones y de la organización centralizada, al menos en sus rasgos maestros y definitorios. La otra discurre en lo filosófico por los cauces liberales de algunas democracias occidentales (principalmente en el caso de Estados Unidos), haciendo intervenir en sus modelos la idea de la libre competencia y de la experimentación local no centralizada de enfoques y alternativas de acción.

Entre los defensores de la segunda alternativa conviene destacar a Ben-David (7), que ha llegado a presentar en sus trabajos al modelo norteamericano de estructura de investigación como el más fructífero y con más capacidad de autorrevitalización. De acuerdo con este autor, las estructuras institucionales científicas y las decisiones en relación con la prioridad de proyectos de trabajo, en distintos lugares y diferentes épocas, suelen surgir a partir de la imitación o adaptación de las correspondientes a un determinado país «central». Los restantes países, integrados en la «periferia», dirigen su atención hacia los enfoques y estructuras que se han mostrado como más fructíferos en el «centro», y que poseen una tradición y una entidad bien fraguadas.

Como ejemplos de países centrales a lo largo de la Historia, presenta Ben-David los casos de la Italia renacentista, la Inglaterra de los siglos XVII y XVIII, la Francia de la época de la revolución y los años siguientes, la Alemania del período comprendido entre 1825 y 1900, y el de los Estados Unidos en el siglo actual. Las estructuras científicas han ido surgiendo de una forma escalonada, coincidiendo con cambios acusados en el papel o rol del investigador, así como en las universidades, centros de formación e institutos científicos. De acuerdo con esta interpretación, las formas y sistemas han pasado del centro a la periferia, pero adaptándose a circunstancias políticas, sociales y culturales de diferente índole.

Así, por ejemplo, el origen lejano de las sociedades científicas

cas de la Inglaterra de la época de Newton (la Royal Society principalmente) cabe localizarlo en las cortes humanísticas de la Italia de los siglos XV y XVI, que pusieron en contacto a *artistas y pensadores*. El papel de la ciencia en las universidades, sin embargo, no alcanzó un adecuado nivel hasta el siglo XIX; por entonces comenzó a surgir la figura del *profesor-investigador*, y pasó a ocupar un lugar secundario el investigador independiente y con recursos económicos y financieros propios. Todavía en una época tan reciente, como es la que corresponde a la Revolución francesa y los decenios siguientes a la misma, continuó prevaleciendo en Francia la figura del amateur de la ciencia y la disociación o separación entre las actividades docentes y de investigación. Los científicos continuaban trabajando de manera aislada y descoordinada, formando a sus sucesores a un nivel individual o, incluso, sin tener discípulos o aprendices que pudieran continuar su labor.

Cabe localizar en la Alemania del siglo pasado el comienzo de una situación diferente, empezando a formarse los científicos en cátedras universitarias o en institutos de investigación parauniversitarios, trabajando a la sombra de profesores de prestigio y en colaboración con otros estudiantes y docentes. En 1899 se elevó a los institutos de tecnología al rango de instituciones universitarias, con lo que se comenzó a fomentar la *investigación aplicada e industrial* en sus más altos niveles. Con todo, en muy pocas ocasiones se llevó a cabo una decidida planificación de la investigación científica, recayendo las decisiones sobre campos y tópicos de estudio en los propios catedráticos y jefes de instituciones académicas. Hubo que esperar a la primera guerra mundial para que se pusiera de manifiesto la necesidad de cambiar esta situación, ante la penosidad de determinados proyectos y problemas.

La estructura científica alemana fue adaptada y remodelada en los Estados Unidos, país en el que se organizó por vez primera y de forma sistemática la formación práctica de los investigadores científicos. Se crearon, en este sentido, los *estudios posgraduados* («graduate studies») y las escuelas graduadas («graduate schools») a comienzos del siglo actual. En un principio se intentó copiar el modelo alemán de instituto uni-

versitario de investigación, pero este modelo derivó hacia las modernas y efectivas estructuras posgraduadas. Se comenzó a otorgar los títulos profesionales de Master y de Ph. D. (Doctor en Filosofía) que avalaban una formación especializada en ciertas ramas y campos de investigación, posterior a la titulación académica básica (licenciado o «bachelor»). Se otorgó el rango de estudios universitarios a las más diversas áreas del saber, incluyéndose las tecnológicas e industriales (ingeniería, agricultura, veterinaria, etc.). Conviene recordar, en relación con este punto, las dificultades e inconvenientes con que han tropezado las ramas técnicas y aplicadas en diversos países de la Europa occidental, para alcanzar una equiparación social y académica con los restantes campos de estudios.

En la mayor parte de los casos, las Facultades y Departamentos, en Estados Unidos, conservaron una gran independencia de acción y de utilización de fondos económicos. Esta situación se ha alterado de forma notable a partir de la segunda guerra mundial, coincidiendo con un acusado crecimiento de fondos y asignaciones de origen estatal y gubernamental: en la actualidad, más de dos tercios del presupuesto tienen ese origen. Dejando aparte las prioridades establecidas por las asignaciones de fondos federales a la investigación, las líneas seguidas en las empresas industriales y en gran parte de los departamentos universitarios se han ido estableciendo y consolidando de una forma cuasiempírica, y no planificada. Este sistema ha dado, qué duda cabe, frutos de primera magnitud, como se evidencia a partir de la notable contribución científica y tecnológica de los Estados Unidos a lo largo del siglo actual.

La línea seguida en la URSS y otros países socialistas ha sido la de *planificación y control* equilibrado de las vías de investigación, estableciéndose un sistema de prioridades desde la administración central. De acuerdo con Ben-David, sin embargo, parece ser que este *enfoque centralizado* no ha dado tan buenos frutos como los *sistemas descentralizados* (USA), «ni siquiera mejores medios de medir y calibrar la producción y los resultados científicos, lo cual es una condición necesaria para los sistemas centralizados» (7).

Está claro que es muy difícil, a veces imposible, establecer

por anticipado las mejores vías de investigación, dado que la ciencia está desarrollando constantemente nuevas vías y caminos que no se pueden predecir adecuadamente. Sin embargo, y en este aspecto queremos hacer especial énfasis, *es fundamental un cierto grado de control y de planificación*, con objeto de lograr un equilibrio armónico entre las diversas direcciones por las cuales encauzar los esfuerzos. Se evitaría de esta manera la polarización excesiva en determinadas líneas, en perjuicio de otras importantes por sus implicaciones sobre el desarrollo social y material, sí como por sus incidencias sobre el desarrollo de otras ramas de la ciencia.

La dirección y control, y este punto es también de suma importancia, no debe interferir con la libre *iniciativa y creatividad* de los trabajadores científicos, los cuales mejor que nadie están dotados de criterios para distinguir cuáles serán las líneas de trabajo más trascendentales de un futuro inmediato. El célebre «caso Lysenko» (10), que tanto ha desprestigiado a la ciencia genética rusa en los países occidentales, y que ha contribuido decisivamente a retrasar la tecnología agronómica de la URSS, debería servir de ejemplo para motivar la reflexión sobre el punto anterior. Como es bien sabido, la oposición filosófica marxista al condicionamiento hereditario de la naturaleza humana ha repercutido sobre la aceptación de las ideas y enfoques genetistas en la Unión Soviética (sobre todo durante el régimen de Stalin). Esta situación favoreció el desarrollo de las ideas ambientalistas de Lysenko y de otros embaucadores, en perjuicio de la ciencia agronómica y de las ciencias genéticas en general. Las ideas de los científicos no deben ser rechazadas o tergiversadas por motivos extracientíficos y se impone, en este sentido, una más estrecha colaboración entre intelectuales y legisladores, con objeto de desterrar los desfases y las situaciones conflictivas.

III.4. ALGUNAS CONSIDERACIONES PEDAGOGICAS

En numerosas ocasiones, como hemos expuesto en el capítulo 1.º, se justifica o pretende *justificar* la enseñanza de las

ciencias por las implicaciones tecnológicas de las mismas, así como por la necesidad ineludible de dominar una serie de conceptos científicos básicos antes de abordar el estudio de conceptos científicos o tecnológicos de rango superior. Puesto que el bienestar material de las sociedades modernas está, en gran medida, condicionado por las estructuras técnico-industriales, y la técnica (se suele decir) necesita de unos conocimientos científicos de base, interesa que los alumnos estudien las diferentes ramas de la ciencia, incluso en los niveles elementales y secundarios.

Si, desde este punto de vista, se localiza en la tecnología parte de las justificaciones a la enseñanza de las ciencias, no deja de resultar discordante el hecho de que se introduzcan con tanta escasez los conceptos de orden tecnológico en los niveles preprofesionales y secundarios. La atención se centra en demasía sobre el aprendizaje de conceptos «puros» (leyes, modelos...), y no se analizan las aplicaciones tecnológicas de los mismos, ni sus implicaciones de orden social, cultural y material. Para remediar esta situación, ha surgido en diferentes países un conjunto de enseñanzas de tipo pretecnológico, que se han introducido o insertado dentro de los estudios de tipo general y humanístico y que se desarrollan de forma paralela a las enseñanzas de las ciencias «puras».

En España, por ejemplo, se han aprobado recientemente los programas de las llamadas «enseñanzas y actividades técnico-profesionales», dentro de la estructura del BUP (11), con las que se pretende continuar la labor emprendida con las enseñanzas pretecnológicas en la EGB. De acuerdo con lo expuesto en el «BOE», estas enseñanzas «deben contribuir a completar la formación del alumno al permitirle *establecer una relación* entre los conocimientos y la formación proporcionada por el estudio de las diversas materias *con el mundo real* del trabajo, y sus actividades constituyen materias *básicamente interdisciplinares* en las que se lleva a cabo una *síntesis* de conocimientos pertenecientes a diversas áreas y establecen un punto de contacto entre el centro educativo y la sociedad circundante».

Las áreas propuestas son: industrias de la alimentación,

electricidad, electrónica, industrias mecánicas, comercio, técnicas del hogar y, finalmente, diseño. Se establece también que «la acción educativa ha de tener como base las experiencias, situaciones y operaciones reales, utilizando datos, objetos y productos extraídos del mundo técnico, social y económico circundante», y que «a partir de cada tema, tomado como centro de interés, *se desarrollarán actividades* que tengan en cuenta sus aspectos técnicos, económicos, sociales y de organización. Esta materia no debe enfocarse solamente desde el punto de vista del mero desarrollo de destrezas o del conocimiento de algunas técnicas concretas, sino que debe posibilitar la adquisición de una *visión de conjunto* de la tecnología correspondiente a la especialidad escogida». (Los subrayados son nuestros.)

En otros países se han emprendido también líneas de acción en este mismo sentido, desde hace bastante años en algunos casos (12). Es importante, no obstante, distinguir con claridad entre la *educación técnica*, dentro de los estudios primarios y secundarios obligatorios, y la *formación profesional*, enfocada a una especialización vocacional.

— En la URSS (13) impera una fuerte tendencia politécnica, tal como la definió Lenin en 1920. El plan de estudios politécnicos rige para todos los alumnos de doce a diecisiete años, aunque ha ido evolucionando desde una preparación para la vida profesional hacia una preparación amplia, cultural y socialmente hablando. El tercer seminario internacional sobre el *politecnismo* en la escuela, que tuvo lugar en Sofía en 1965, definió los siguientes objetivos en este tipo de enseñanza: establecer una relación más estrecha entre la escuela y la vida, motivar y orientar hacia las enseñanzas técnicas propiamente dichas y, finalmente, desarrollar la reflexión técnica y científica.

— En Inglaterra, la educación tecnológica no es obligatoria. Se suele seguir, en los casos en que está presente, el *método de proyectos*. En una de las últimas reuniones celebradas por la Conferencia Permanente de la Ciencia y la Tecnología Escolares (14) se recalcó la necesidad de buscar enfoques interdisciplinarios y multidisciplinares, de la misma forma que se hizo en

el simposio de Nottingham (el cual analizamos en el siguiente apartado).

— En la República Federal de Alemania la enseñanza tecnológica se presenta como una iniciación al mundo del trabajo y a la vida económica. La Comisión Alemana para la Educación y la Enseñanza sugirió, en 1957, que las escuelas tuviesen en cuenta las exigencias técnicas de la sociedad actual, y procurasen desarrollar la inteligencia tecnológica y la facultad de adaptación de los alumnos.

— En el sistema educativo francés todos los alumnos, en el período de los doce a los quince años de edad, tienen dos horas de educación tecnológica a la semana, aunque no se imparte la enseñanza de la física o la química hasta los dieciséis años de edad, en el liceo. La tecnología, por consiguiente, es obligatoria en los dos últimos años del ciclo medio. Es el único país europeo en el que la tecnología se estructura de forma total como *disciplina autónoma*, con un profesorado especializado y programas y horarios bien especificados; se apoya, por otra parte (12), en el estudio de determinados objetos técnicos, cuya relación va anexa a los programas oficiales. La interdisciplinariedad existente es más bien escasa, excepto con las matemáticas y los trabajos manuales. En un reciente artículo publicado en *Vida Escolar* (15) se pueden obtener más detalles.

— En el ciclo medio italiano (de los once a los catorce años) existe una materia denominada «aplicaciones técnicas», que es obligatoria en el primer y segundo años y optativa en el tercero. Esta enseñanza está relativamente poco desarrollada, a pesar de los intentos serios que se han realizado para dotarla de más importancia, especialmente a partir de la célebre conferencia de Villa Falconeri, en Frascati, 1967.

— En los Estados Unidos se está apreciando una fuerte tendencia o corriente enfocada hacia la introducción de *estudios tecnológicos* en los ciclos básicos y medios, especialmente a nivel de High School (grados 9-12, catorce-dieciocho años de edad). Como analizamos en el siguiente apartado, la educación técnica, paralela a la educación científica y la humanística, está recibiendo muchos apoyos a distintos niveles y está siendo objeto de amplio análisis y discusión.

Saliéndonos del campo estricto de la educación tecnológica, existen otros *aspectos de orden humanístico* (como son el estudio de las interrelaciones ciencia-sociedad a lo largo de las distintas fases de la Historia, y el de las implicaciones culturales del desarrollo científico) que no deberían excluirse de la enseñanza institucionalizada. En el capítulo 4.º se discuten algunos detalles de este aspecto. Por otra parte, los métodos historicodidácticos pueden resultar de gran valor en esta línea, y es por ello que se dedica un capítulo de este libro a su presentación y análisis.

III.5. LA EDUCACION TECNOLOGICA EN LOS NIVELES BASICOS Y MEDIOS

Dada la creciente importancia de la tecnología y de las ciencias aplicadas en la sociedad moderna, es fundamental disponer de los convenientes resortes educativos que posibiliten la comprensión de su naturaleza por parte de los alumnos. Puesto que el desarrollo de la tecnología, desde un punto de vista histórico, no ha sido totalmente coincidente con el de las ciencias, no se puede pretender con la exclusiva enseñanza de estas últimas que el alumno adquiera una visión clara y adecuada de las interrelaciones existentes entre ambos campos.

Los diseños industriales y aplicados (en contraposición a las creaciones científicas «puras») están sometidos a un conjunto de restricciones e imposiciones externas que no pueden ser soslayadas en ningún momento. Entre dichos condicionamientos, cabe destacar los siguientes: practicidad, economía, viabilidad, funcionamiento adecuado y utilidad; todos estos criterios externos deben incluirse en el proceso de estudio y diseño, y sus peculiares características hacen del trabajo intelectual tecnológico algo sustancialmente distinto del trabajo científico inductivo-deductivo. Al nivel de la educación superior, es posible encontrarse con casos de personas notablemente destacadas por su creatividad y productividad en el plano de la investigación científica, y que, por contraste, encuentran grandes dificultades cuando se enfrentan con problemas de orden técnico

y aplicado. Lo mismo cabría decir, con toda seguridad, de destacados tecnólogos e ingenieros en lo que se refiere a sus posibilidades de realizar investigación abstracta y rigurosa. El estudiante que se ha centrado fundamentalmente en el dominio de teorías y abstracciones y en la resolución de problemas de orden teórico y estricto, chocará con dificultades (ciertamente no insalvables) en el momento de «pisar tierra» y abordar la solución de cuestiones de orden técnico.

Los objetivos de la educación básica y media (en España, la EGB y el BUP) no se encuadran dentro del desarrollo de especializaciones concretas, sino que deben centrarse en la promoción de vías y disposiciones amplias para estudios posteriores: la Educación Básica para el Bachillerato y la Formación Profesional, y el BUP para estudios superiores y profesionales. Incluso se han elevado últimamente voces de protesta, defendiendo la prolongación de la educación básica y general hasta los dieciséis años de edad, sin la actual ramificación al finalizar el curso octavo de la EGB (*). La educación tecnológica, en estos niveles, no debe desarrollarse con fines de especialización, sino de maduración personal y predisposición favorable a caminos y derroteros posteriores. Según Ost (16), el adecuado desarrollo de los alumnos requiere de un ajustado equilibrio entre *adaptabilidad* y *plasticidad*, la primera para comprender y estar en disposición de enfrentarse con el mundo tal como existe, y la segunda para poder integrarse y ajustarse a la sociedad del futuro. Este *equilibrio* ha de buscarse a través del *desarrollo amplio de las capacidades humanas*, sin centrarse con exclusividad en el adiestramiento de capacidades restringidas y de estrecha validez.

De acuerdo con las observaciones anteriores, la educación tecnológica en los niveles y ciclos no profesionales debería atender a objetivos específicos, diferentes de los que comportan la educación científica y humanística (aunque íntimamente relacionados con estos últimos). Siguiendo a Zoller y Watson, que han analizado con detalle este problema en el contexto de

(*) En el periodo transcurrido desde la redacción de este libro (1976), parece que se ha comenzado a valorar este enfoque a nivel gubernamental.

la sociedad norteamericana (17), las diferencias entre la educación científica «clásica» y la educación tecnológica se podrían sintetizar en el siguiente cuadro (ligeramente modificado):

Ed. científica «clásica»

1. Contenidos de acuerdo con los conocimientos actuales en física, biología, etc.
2. Indagación, observación, experimentación y recogida de datos como métodos científicos.
3. La ciencia como conjunto de principios, como un modo de interpretar el universo, como una serie de conceptos interrelacionados.
4. Búsqueda de la verdad científica sin preocupación por su aplicabilidad y practicidad.
5. Énfasis en lo teórico.
6. Análisis exacto e imparcial de hechos y observaciones (fundamentalmente desde un punto de vista «de asignatura»).

Educación tecnológica

1. Contenidos en relación con problemas tecnológicosociales.
2. Posibilidades y limitaciones de la tecnología en relación con el bien común.
3. Determinados juicios de valor condicionan la exploración, el uso y los enfoques seguidos.
4. Consciencia de las consecuencias a largo plazo. Importancia de las implicaciones sociales.
5. Énfasis en lo práctico, a expensas de lo teórico.
6. Análisis de problemas reales en un contexto real (enfoque interdisciplinar).

Ambos tipos de enfoques coinciden en la importancia otorgada a sus materias respectivas como fuentes de cambio en nuestra sociedad (cambios conceptuales y cambios económicos), y en la manifestación de que es fundamental para todo educando conseguir los objetivos anteriormente sintetizados. El punto 6.º se puede encontrar también en diferentes enfoques europeos, en los que se preconiza la implantación de una *estructura interdisciplinar*, que facilite la interrelación entre materias y disciplinas, con finalidades de comprensión del proceso tecnológico y de dominio de técnicas básicas. En este sentido, la educación tecnológica se presenta como una rama independiente, pero íntimamente relacionada con las demás zonas del currículum escolar.

El simposium de Nottingham, en septiembre de 1972, se manifestó en favor de una cooperación creciente entre el profesorado de ciencias y de materias técnicas. Estas últimas se

desarrollarían en los llamados «talleres comprensivos generales», cuya finalidad sería la de «proporcionar una amplia gama de actividades al área cultural tecnológica, pero nunca tratando de especializar en una profesión determinada» (18). Tanto la existencia de estos talleres como la de una verdadera conciencia y estructura interdisciplinar, serían de capital importancia para poder desarrollar la capacidad de razonamiento técnico y la de análisis crítico de las implicaciones sociales de la tecnología.

En algunas ocasiones, incluso, se ha defendido la idea de considerar a la educación tecnológica como entroncada en toda la estructura escolar, y no como rama o materia independiente, con profesorado propio (19). El método de proyectos, tan propugnado en Gran Bretaña, y que analizamos con más detalle en otro capítulo, se presenta como vehículo idóneo para lograr un desarrollo interdisciplinar adecuado a este aspecto de la formación integral. Grupos de alumnos, o diferentes escolares individualmente, podrían enfrentarse en un período del curso con la resolución de un determinado *proyecto de orden tecnológico*, para lo cual se debería poner en juego algunos de los siguientes puntos:

- La *aplicación* de principios científicos, adquiridos en los cursos de ciencias, a problemas reales, con sus condicionantes e imposiciones externas características.
- La *apreciación* del poder y las limitaciones de la ciencia en determinados contextos sociales e industriales (en el caso de que el proyecto incluya el análisis de vertientes sociales y económicas de determinados avances técnicos y científicos).
- El desarrollo de un *razonamiento analítico* y crítico de tipo tecnológico frente a objetos técnicos, con sus peculiares características: búsqueda de los principios científicos intervinientes y de relaciones causa-efecto, localización de las ventajas y limitaciones en su utilización, crítica de las soluciones prácticas puestas en juego por el constructor...
- Desarrollo de las capacidades de *síntesis y diseño*, en el

caso de que el proyecto suponga la construcción o planificación de un determinado dispositivo técnico.

- Desenvolvimiento de las *capacidades manuales*: de coordinación motora, de dibujo técnico, de manipulación y manejo, etc.
- Desarrollo de habilidades de esquematización, simbolización y representación, así como las de interpretación de croquis y planos.

La realización de estos proyectos individuales o en grupo puede requerir de la colaboración y asesoría del profesorado de diferentes áreas: profesorado de Ciencias, de Ciencias Sociales (Geografía e Historia), de Manualizaciones y de Dibujo, de Actividades Técnico-Profesionales, de Pretecnología, etcétera. El método de proyectos suministra de esta forma un conjunto de centros de interés, a los que todas las materias pueden contribuir de manera relevante. Además de este enfoque, de acuerdo con Deforgue (12), existen otras formas pedagógicas dentro de la educación tecnológica:

a) La tecnología considerada como *tema directriz*. En este caso, se requiere de un profesor único que, a partir de un tema tecnológico, desarrolla un conjunto de conocimientos necesarios.

b) *La tecnología como finalidad*. Aquí, la tecnología suministra un campo de aplicación de conocimientos adquiridos en las diferentes asignaturas del curso escolar. Los enfoques interdisciplinarios, como en el caso del método de proyectos, podrían ser incluidos en este apartado.

c) La tecnología como *disciplina autónoma*, con un horario y profesorado propios (caso de Francia), así como con locales e instalaciones destinados a este fin. Los conocimientos requeridos, caso de no haber sido adquiridos a través de otras materias escolares, son introducidos en el propio «curso de tecnología».

d) La tecnología como *motivación*. Los conceptos y aplicaciones técnicas son de la competencia de las distintas materias escolares y del profesorado de las mismas. Las finalidades, en cada caso, pueden ser de motivación para introducir

conceptos abstractos, o bien de aplicación de dichos conceptos para la comprensión e interpretación del entorno sociotecnológico.

Este último enfoque no es incompatible con los otros, y sería muy conveniente que el profesorado, sobre todo en los casos de las áreas científicas, utilizara *instrumentos y estructuras técnicas* como motivación e ilustración de principios abstractos y como ejemplos concretos de vías de aplicación de los mismos. Algunos autores y especialistas en la Didáctica de las Ciencias alemanes se han mostrado especialmente inclinados por este enfoque, por razones que analizamos seguidamente (20).

En primer lugar, los alumnos (especialmente los varones) se sienten fuertemente atraídos por la técnica. En gran parte de los casos, y sobre todo en el caso de escolares procedentes de zonas urbanas, el contacto con instrumentos de distinta índole y con variados dispositivos e invenciones de tipo mecánico y electrónico es muy fuerte desde las más tempranas edades. Para la mayoría de ellos es habitual la utilización de vehículos mecánicos de transporte, de ascensores, radios y televisores, de magnetófonos y tocadiscos, etcétera. Sin remontarnos a las técnicas e instrumentos más complejos, como son los anteriormente expuestos, existen otros de gran sencillez que sirven de ilustración de los principios científicos más variados. Así, las bicicletas y triciclos, interruptores y lámparas eléctricas, cocinas y estufas de diferentes clases, balanzas, relojes de pulsera y relojes de péndulo, instrumentos y herramientas de taller, juguetes de variada naturaleza y complejidad, procesos de cocción y elaboración de alimentos (que ilustran diferentes reacciones fisicoquímicas), etc.

Esta atracción por la técnica, que es el fruto de una creciente interacción entre tendencias e impulsos naturales y la realidad del mundo tecnológico circundante, no puede ni debe ser soslayada. Lo que es más: conviene hacer uso de la misma con finalidades de educación científico-tecnológica y de desarrollo de una forma de pensar realista e interpretativa. En ocasiones, al centrarse la enseñanza de las ciencias sobre aspectos dema-

siado abstractos y complejos, sin poner de manifiesto sus relaciones con diferentes aplicaciones técnicas, se desperdician valiosas fuentes de motivación y educación. Si una de las finalidades de la enseñanza científica es contribuir al desarrollo social y material mediante la educación intelectual y la capacitación del alumno para integrarse en estructuras industriales de complejidad creciente, no conviene remontarse a terrenos excesivamente teóricos y abstractos, en gran parte alejados de la realidad circundante (véase el capítulo 5.º, en lo que se refiere a la evolución de los intereses tecnológicos en el niño).

Está claro que sin una formación científica básica, difícilmente se podrán comprender de forma precisa y analítica las características de gran parte de los avances tecnológicos. Pero es cierto, de la misma manera, que sin ejemplos concretos y el estudio detallado de objetos y dispositivos adecuados, así como el diseño de otros, si fuere preciso y posible, no se contribuiría a potenciar una forma de razonamiento realista y aplicativo, crítico y analítico-sintético. «Para aprender, hay que hacer», como reza el célebre pensamiento de John Dewey, y de ahí la necesidad de llevar a la práctica las ideas expuestas.

Algunas sugerencias válidas en este sentido podrían ser las siguientes:

- Utilización de *ejemplos* extraídos del mundo circundante, tanto natural como técnico, para ilustrar variados conceptos científicos.
- *Uso de instrumentos* y dispositivos técnicos, cuanto más sencillos, mejor. Estos objetos pueden ser desmontados en clase, y sus relaciones de causa-efecto estudiadas mediante la participación de los alumnos.
- Parte del trabajo de laboratorio y en equipo, así como algunos proyectos didácticos, podrían centrarse en la *localización* de las leyes y principios científicos intervinientes en algunos objetos técnicos.
- Caso de considerarse adecuado, y de disponer de tiempo y de material conveniente, algunos de los alumnos (los más interesados en este aspecto) podrían embarcarse en *proyectos* de diseño de algunos instrumentos técnicos

sencillos (cf. capítulo 6.^o). Esta actividad, sin embargo, es más adecuada para ser llevada a cabo en los cursos de tecnología y pretecnología, o como parte de proyectos de trabajo interdisciplinarios.

III.6. RESUMEN DEL CAPITULO

Se analizan los aspectos más destacados dentro del ámbito de las interrelaciones ciencia-tecnología-sociedad. Así, se hace ver cómo las técnicas y las ciencias han evolucionado de forma bastante compleja e independiente en ocasiones, aunque en los últimos tiempos ha aumentado el número de puntos de contacto y de dependencia mutua. Las incidencias sociales de la ciencia han tenido lugar tradicionalmente sobre las dos vertientes siguientes: la vertiente cultural y la vertiente económica e industrial (en este último caso gracias a las influencias del conocimiento científico sobre diferentes zonas de la estructura tecnológica).

Dado que una de las justificaciones más sobresalientes de la educación científica en los niveles básicos y secundarios radica en la necesidad de crear una tradición y un acervo cultural adecuados a toda sociedad industrializada, se impone arbitrar medidas fecundas en esta línea. En este sentido, una enseñanza de las ciencias excesivamente abstracta y teórica no es la más aconsejable para favorecer la comprensión del proceso tecnológico, ni del complejo entramado ciencias-técnicas. Se hace necesaria la introducción de conceptos de orden tecnológico y aplicado en la enseñanza científica, así como la creación de un clima de franca interdisciplinaridad y colaboración entre el profesorado de diferentes áreas educativas. La utilización de ejemplos y aplicaciones extraídos del mundo técnico, la implantación de enfoques interdisciplinares (el método de proyectos, por ejemplo), así como el análisis de los puntos de contacto entre saber científico y desarrollo socioeconómico son jalones destacados y diferentes vías de acción abiertas hacia la consecución de estos ambiciosos objetivos.

CUESTIONES DE AUTOEVALUACION Y APLICACION

1. Discuta y analice las siguientes afirmaciones:

- La investigación científica enfocada hacia fines exclusivamente prácticos y aplicativos es el tipo menos práctico de investigación.
- La *ciencia* permite de forma creciente el dominio de la Naturaleza, de acuerdo con las necesidades del hombre.
- No vale la pena destinar grandes presupuestos a la investigación pura y aplicada, puesto que los resultados obtenidos en otros países pueden ser utilizados y adaptados a bajo coste.
- Algunos aspectos de la ciencia y de la tecnología han contribuido a deshumanizar amplias zonas de la estructura y la realidad sociales. De ahí la necesidad de fomentar cada vez más una fecunda educación humanística.
- Es utópico pretender una independencia científica a nivel nacional, dadas las crecientes interrelaciones de unos países con otros y la complejidad actual del edificio científico.

2. Algunas de las conclusiones propuestas en el seminario sobre la Formación Pretecnológica (FPT) en la educación básica, celebrado en el ICE de la Universidad Politécnica de Madrid (1974), han sido:

- El hecho de que la colaboración entre los hombres facilita el desarrollo tecnológico, hace que la FPT comporte una marcada dimensión social, estimulando el trabajo en equipo y la ayuda mutua.
- No debe confundirse esta enseñanza (la FPT) con la ciencia aplicada ni con la Formación Profesional.
- La FPT ayudará al alumno a utilizar con seguridad y eficacia sus movimientos manuales y los instrumentos de que disponga.
- Considerando el carácter pluridisciplinar de la tecnología, podrán participar en su enseñanza todos los miem-

bros del profesorado que se sientan vocacionalmente llamados a impartirla, debiéndose facilitarles los medios para que alcancen la preparación adecuada.

Analice estas reflexiones y extraiga consecuencias didácticas de las mismas, en relación con la actuación del profesorado de la FPT. De la misma manera, haga un análisis de la *problemática implicada en una colaboración interdisciplinar*, entre el profesorado de las áreas científicas y de expresión plástica y pretecnológica, adecuada al desarrollo del razonamiento tecnológico y analítico del alumno.

3. Entre las conclusiones presentadas por un seminario sobre coordinación de materias comunes en 8.º de EGB y el primer curso de Formación Profesional (ramas de Física y Química y de Ciencias Naturales), celebrado en Madrid en diciembre de 1975, cabe destacar las siguientes:

- Existe una falta de conexión lamentable entre la pretecnología y las ciencias, en la segunda etapa de la Educación Básica.
- El mantenimiento de la compartimentación tradicional de las disciplinas se encuentra en contradicción con el concepto de ciencia integrada propugnado en el seminario.
- Falta una adecuada relación entre contenidos teóricos y prácticos, y en concreto entre el área de ciencias y la pretecnología. Respecto a esta última, se señala la heterogeneidad de tratamiento, juntándose en ella actividades relacionadas con el desarrollo de las capacidades estéticas y actividades específicamente tecnológicas.
- La tecnología, en la Formación Profesional, es enseñada de forma mecánica, sin relacionarla con los conocimientos científicos básicos.
- Sería necesario desarrollar el estudio del mundo tecnológico a través de la imbricación del área de tecnología con el área de Ciencias Naturales.

Analice diferentes vías alternativas para poner en práctica estas recomendaciones. ¿Qué tipo de contenidos sería necesario incluir en los cursos de formación de profesorado, tanto en los ICE como en las Escuelas Universitarias, para facilitar una comunicación creciente entre los profesores de las diferentes ramas? ¿Y para que el profesor de Ciencias puede incluir conceptos y ejemplos de orden tecnológico en sus clases? Compare los programas de las áreas científicas y tecnológicas, y localice puntos de contacto y vías de programación interdisciplinar.

4. Se ha dicho (18) que «la tecnología ha revolucionado la estructura de las relaciones sociales, económicas y culturales», y que «cabe pensar de esta rama del saber como elemento generador de una cultura: si ello es así, debe ocupar un puesto en el ámbito de la cultura general». Según Mac Luhan, la tecnología puede dar origen a una cultura de síntesis integrativa, y la tradicional división entre las ciencias y las letras podría quedar superada en una visión universal omnicomprendensiva. Reflexione sobre estos pensamientos y extraiga conclusiones relevantes para planificar líneas de acción educativa en el futuro.

REFERENCIAS

- (1) BERNAL, J. D. *Historia Social de la Ciencia*, Vol. I. Eds. Península, Barcelona, 1967 (traducción de la 2.^a ed. inglesa, de 1964).
- (2) FRIEDMANN, Georges. *El hombre y la técnica*, Ed. Ariel, 1970 (Ed. original: *Sept études sur l'homme et la technique*, Paris, 1966).
- (3) PRICE, D. J. *Hacia una Ciencia de la Ciencia*, Ed. Ariel, Barcelona, 1973 (Ed. original: *Little Science, Big Science*, Columbia Univ. Press, Nueva York, 1963).
- (4) JEVONS, F. R. *The Teaching of Science: Education, Science and Society*, Allen and Unwin, Londres, 1969.
- (5) BACON, Francis. *Novum Organum*. Una edición moderna muy conocida es la de F. H. Anderson, en Bobbs-Merrill, 1960. También hay ediciones modernas del *New Atlantis*.
- (6) Observaciones de A. Terradeso, en *La revolución científico-técnica*, conjunto de artículos publicados por Cuadernos Beta, Barcelona, 1973.
- (7) BEN-DAVID, Joseph. *The Scientist's Role in Society*, Prentice-Hall, 1971 (existe traducción al castellano por Fondo de Cultura Económica, Méjico: *El papel de los científicos en la sociedad*).
- (8) POLANYI, Michael. *The Logic of Liberty*, Routledge and Kegan Paul, Londres, 1951 (el concepto de *Comunidad* lo introdujo Polanyi en 1942).
- (9) Sobre todo a partir de los trabajos de J. D. Bernal (cf. su conocida obra *The Social Function of Science*, Londres, Routledge and Kegan Paul, 1939). Otras obras relevantes son las de G. M. Dobrov (*Nauka o Nauke*, Moscú, 1966), las de D. J. S. Price (cf. referencia 3) y las de Merton.
- (10) MEDVEDEV, Zhores. *The Rise and Fall of T. D. Lysenko*, presentado y editado por I. Michael Lerner en Anchor Books, Doubleday and Co., Nueva York, 1971.
- (11) Decreto 160/1975, de 23 de enero, que aprueba el Plan de Estudios del Bachillerato («B. O. E.» de 18 de abril de 1975).
- (12) DEFORGE, Y. «La educación tecnológica», en *Vida Escolar*, Núm. 159-160, mayo-junio, 1974, pp. 9-15 (original francés en el Documento CCC/EGT-72 del Consejo de Europa).
- (13) ANWEILER, O. *Polytechnische Bildung und technische Elementar-erziehung*, Bad Heilrum, J. Klinkhardt, 1969 (citado por Deforge, *art. cit.*).
- (14) WEST, R. W. «Living with Technology», en *Education in Science*, enero 1974, pp. 24-25.
- (15) SERRADILLA, M. «La enseñanza de la Tecnología en el primer ciclo secundario francés», en *Vida Escolar*, Núm. 159-160, mayo-junio 1974, pp. 29-33.
- (16) OST, D. H. «Humanistic Psychology and Science Teacher Education», trabajo presentado en la Convención Anual de la AETS, Detroit, 1973.
- (17) ZOLLER, Uri; WATSON, Fletcher G. «Technology Education

for Nonscience Students in the Secondary School», en *Science Education*, 58 (1), pp. 105-116, 1974.

(18) ACERO SAEZ, E. «Las Enseñanzas y Actividades Técnico-Profesionales en el nuevo Bachillerato español», en *Bordón* (revista de la SEP), Núm. 209, septiembre-octubre, 1975, pp. 327-341.

(19) WOOLNOUGH, B. E. «The place of technology in schools», en *The School Science Review* (revista de la Association for Science Education, del Reino Unido), Vol. 56, Núm. 196, marzo 1975, pp. 443-448.

(20) KNOLL, K. *Didáctica de la enseñanza de la Física*, Ed. Kapelusz, Buenos Aires, 1974, pp. 27-32 y pp. 89-91.

BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTARIA

- ECCP (Engineering Concepts Curriculum Project): *Man Made World*, Nueva York: Webster/Mc Graw Hill, 1971. Un excelente libro de texto para la introducción de conceptos de orden tecnológico (en los aspectos tecnicoaplicativos y sociológicos) en los niveles secundarios. Ha sido desarrollado por un amplio equipo de expertos, y se ha utilizado con amplitud en los Estados Unidos desde su primera edición.
- JONES, G. *Ciencia y tecnología en los países en desarrollo*, publicado por Fondo de Cultura Económica, Méjico.
- KEILHACKER, Martin. *Pedagogía de la Epoca Técnica*, Ed. Kapelusz, Buenos Aires, 1964 (Ed. original en Ernst Klett Verlag, Stuttgart, 1961). Un análisis de la problemática impuesta sobre el mundo moderno por los cambios drásticos, sociales y económicos, que ha acarreado la moderna tecnología.
- LEON, A. *Histoire de l'éducation technique*, Paris: Presses Universitaires de France, 1961.
- MUMFORD, Lewis. *Técnica y Civilización*, Ed. Alianza, Madrid, 1971 (Ed. original en Londres, 1947). Un interesante y exhaustivo análisis histórico-sociológico.
- OPEN UNIVERSITY. *Ciencia y Sociedad* (Núm. 33-34 del Curso Básico de Ciencias), publicado por Mac Graw Hill Latinoamericana, 1974. (Ed. original en Inglaterra de 1971).
- STENECK, N. H. *Science and Society: Past, Present and Future*, Univ. of Michigan Press, 1975. Se incluyen en este volumen las actas del Simposio Aniversario de Copérnico celebrado en la Univ. de Michigan.
- TIMM, Albrecht. *Pequeña Historia de la Tecnología*, Ed. Guadarrama, Col. Punto Omega, Madrid, 1971 (Ed. original en Stuttgart, 1964). Interesante trabajo, de utilidad para la formación del profesorado de materias científicas y tecnológicas.

En el College of Education, de Longhborough, Inglaterra, se ha comenzado a desarrollar un ambicioso proyecto para la enseñanza de la tecnología en los niveles secundarios: El «Schools Council Project Technology». El material didáctico y libros desarrollados pueden resultar de gran interés para el profesorado de estos niveles.

IV. ASPECTOS INTERDISCIPLINARES

IV.1. INTRODUCCION

En el capítulo anterior aludimos a la creciente interconexión de la ciencia con la tecnología. Las investigaciones científicas, debido a su notable grado de sofisticación, dependen cada vez más de las aportaciones de la técnica, en lo que se refiere a instrumentos y sistemas de análisis de datos. Las tecnologías, a su vez, se nutren de conceptos y métodos científicos de forma más evidente.

¿Y qué se puede decir —pensarán gran parte de los lectores— en relación con las humanidades y su papel en la cultura moderna? ¿Acaso se puede hablar, hoy en día, de una «cultura humanística» independiente y ciega a las aportaciones de las ciencias? Creemos decididamente que no, y trataremos de matizar este punto con más detalle a lo largo de este apartado.

La interdisciplinaridad entre la ciencia y la tecnología, puesta de manifiesto en el anterior capítulo, puede ser transferida en gran medida al estudio de la compleja red de interrelaciones que se está tejiendo día a día entre la ciencia y la cultura moderna. Se puede hablar, por una parte, de un constante trasvase de enfoques y métodos entre las ramas científicas tradicionales y las ramas humanísticas. Debido a ello, y como ha puesto de manifiesto el profesor París (véase el capítulo 2.^o), no sería conveniente referirse a las «ciencias» y a las «letras», sino a diferentes tipos de ciencias. Muchas ramas del saber y de la cultura (a veces denominadas «ciencias humanas»), sin embargo, no han podido alcanzar todavía el grado de precisión conceptual y metodológica de las ramas científicas situadas a la vanguardia del movimiento investigador.

Entre los trasvases más acusados, podríamos referirnos a la utilización de la estadística en las ciencias sociales y en las ciencias de la conducta (sociología, psicología), a la utilización de computadores en algunas áreas de la Historia Económica, a las aplicaciones de la matemática en la Lógica y la Filosofía, a la utilización de métodos científicos de previsión y organización en los procesos de planificación económica, etcétera.

Por otra parte, sin embargo, se puede hablar también de una creciente sima o separación entre grandes zonas de la cultura científica y destacadas áreas de la cultura humanística. Charles Snow, en su polémico libro *The Two Cultures* (1), ha llegado a pintar con negras tintas el problema de la moderna especialización y de la acotación del saber en franjas separadas y disconexas. Así, es muy difícil que el científico dedicado con todas sus energías a la profundización en una parcela restringida del saber llegue a captar con suficiente detalle las valiosas aportaciones, no ya de algunas de las humanidades, sino incluso de otras ramas de la ciencia que se dedica a cultivar.

La parcelación estricta del moderno saber en zonas y especialidades tiene, como es fácil de apreciar, un destacado valor operativo: sin ella difícilmente hubieran alcanzado las ciencias el grado de conceptualización y el nivel metodológico de que dan muestras hoy en día. Ya no se puede pretender que sigan existiendo los antiguos «sabios» o eruditos, maestros de muchas facetas y vertientes (los enciclopedistas, como Aristóteles, San Alberto Magno y otros). Se va cada vez más a la especialización, dado su valor práctico e instrumental, y éste es un punto que no admite apenas discusiones.

Esta creciente especialización, sin embargo, puede llegar a acarrear efectos perjudiciales, no siempre fácilmente previstos, que pueden poner en peligro y hacer tambalear a gran parte de las estructuras culturales. En efecto: una persona profundamente introducida en parcelas restringidas del saber y, sin embargo, ciega para otras, no podrá saborear de forma suficiente la calidad de la cultura contemporánea, ni comprender cuál es su papel dentro de la compleja sociedad actual. Será un sabio dentro de las murallas que han trazado sus estudios, pero un ignorante para las aportaciones de otras líneas de

investigación. Y esto se puede decir tanto de los «humanistas», como de los «científicos» y los tecnólogos.

¿Cuántas —podríamos preguntarnos— de la gran mayoría de las personas legas ante los avances de la ciencia comprenden, ni siquiera superficialmente, el sentido de las leyes y mecanismos implícitos en la gran variedad de estructuras y dispositivos utilitarios que les rodean? (En relación con este punto, véase el capítulo anterior.) ¿Cuántos, asimismo, de los científicos y tecnólogos tienen una idea clara del significado de sus estudios para el avance social y cultural de la sociedad que les rodea? Por otra parte, y saliéndonos de sus parcelas de trabajo y actividad, ¿qué saben de las aportaciones de los lingüistas al conocimiento de la lengua que usan, de la historia a la comprensión de la etapa que les ha tocado vivir, de la sociología al análisis de las estructuras de que forman parte? Por alta que sea su especialización y su preparación a su campo de trabajo, estarán ciegos al sentido del mundo que les rodea, y no serán perfectamente conscientes del valor de sus aportaciones al mismo.

Se ha dicho que no puede existir una estructura social verdaderamente democrática sin una adecuada formación cultural de los miembros integrantes de la misma. La cultura, en este sentido, se impone como la verdadera arma de batalla en el camino hacia la participación y gestión conscientes en el funcionamiento de la sociedad. ¿Acaso, cabe preguntarse, es posible desarrollar una concepción sólida del mundo social y natural sin una adecuada formación, la cual constituye el escudo más efectivo contra charlatanes y demagogos? La educación equilibrada y armónica constituye, en este sentido, una vía insoslayable hacia el desarrollo de un sistema axiológico propio y personal, meta más noble a la que puede aspirar la formación cultural (2).

La especialización es un medio fundamental para el desarrollo de la ciencia y de la cultura, pero no debe ser un obstáculo para que toda persona adquiera una *visión comprensiva y global*; una visión que le permita enjuiciar mejor los procesos de todo tipo y asumir conscientemente una opción cultural, axiológica y política en relación con la sociedad a que pertenece.

Sobre este aspecto volveremos a insistir en el siguiente apartado.

IV.2. INTERDISCIPLINARIDAD Y FORMACION HUMANISTICA

En el capítulo 11 mencionamos las dificultades encontradas por las ciencias para conseguir un puesto adecuado dentro de la estructura de la enseñanza primaria y la secundaria. Hoy en día está ocurriendo algo semejante con las tecnologías, normalmente relegadas a ciclos de formación profesional y tímidamente incluidas en los ciclos de formación general (Educación Básica y Bachillerato). Incluso, históricamente, ha supuesto un gran esfuerzo conseguir para las carreras de tipo técnico el *status* universitario (hasta tiempos recientes se han desarrollado dentro de las escuelas técnicas, no incluidas dentro de la estructura universitaria). Todo ello es un reflejo de las reticencias, vencidas con dificultad, a asignar a la ciencia y a la técnica un papel dentro del acervo cultural de toda persona.

En el caso de las ciencias se han superado ya las dificultades iniciales, y la mayoría de los países las incluyen dentro de los currículos de los ciclos básicos y secundarios; recientemente, en España, se ha aplazado hasta los dieciséis años la tradicional separación ciencias-letras del Bachillerato, entrando nuestro país de esta manera dentro de la órbita de la mayor parte de los países desarrollados, todos ellos conscientes del valor formativo de las materias científicas. También se han creado las Actividades Técnico-Profesionales, que inician a los estudiantes en diferentes aspectos de la educación tecnológica (véase el capítulo anterior). Con estas Actividades no se pretende dar una pre-especialización en un área concreta, sino más bien abrir las puertas a un razonamiento de tipo tecnológico, en la línea emprendida por otros países (3).

Es importante, con todo, ser conscientes de un hecho de gran trascendencia en relación con la formación equilibrada de todo escolar: existe una manifiesta tendencia, por parte de los alumnos, a considerar las distintas asignaturas como compar-

timentos estanco, con diferentes exigencias y estructuras. No es esto lo más conveniente para lograr una buena educación, e interesa ayudar a realizar *síntesis constructivas* de los diferentes conceptos aprendidos, contribuyendo así al desarrollo de un verdadero espíritu crítico y discursivo. Cabría plantearse, sin embargo, hasta qué punto es utópico o irrealizable lo anterior, si se tiene en cuenta que, incluso dentro de una misma asignatura, el profesorado no sabe relacionar de forma adecuada los diferentes conceptos entre sí, con conceptos anteriormente asimilados, y con vivencias y experiencias del alumno. Las estructuras del pensamiento se deben acercar más hacia las *síntesis interdisciplinares*, y es al profesorado del centro escolar a quien compete trabajar en esta dirección.

Ya hace bastantes años, Alfred North Whitehead se lamentaba de la «fatal desconexión de las asignaturas, la cual está destrozando la vitalidad de nuestro moderno currículo» (4). Whitehead, cuya calidad como filósofo de la educación nadie discute, llegó a plantear la necesidad del estudio de las Ciencias Sociales dentro de los ciclos secundarios, así como de los métodos de análisis estadísticos aplicados a la investigación en Sociología, Economía y Geografía Económica. De esta manera se lograría posiblemente una visión más «científica» e integrada del saber transmitido, conectándolo con otras áreas culturales. La introducción de componentes metodológicos de las ciencias humanas ayudaría, de acuerdo con Whitehead, a lograr una integración fecunda entre las mismas y las ciencias formales (la matemática, la lógica, la estadística). Más adelante volveremos a abordar el problema de la interdisciplinariedad en los ciclos elementales y secundarios.

También en la enseñanza universitaria se está planteando con fuerza la necesidad de introducir facetas interdisciplinares, compatibles a su vez con la necesaria especialización de los ciclos superiores. En los países anglosajones, especialmente, se han logrado estructuras curriculares muy flexibles, que posibilitan la construcción de esquemas formativos individuales e interdisciplinares. Así, la Universidad de Manchester tiene un programa denominado «Estudios Liberales de la Ciencia» (5), que incluye el estudio de la Ciencia desde los puntos de vista

económico, social, histórico y filosófico. Un programa de este tipo supone, indudablemente, una estrecha colaboración entre los Departamentos Científicos y los Humanísticos. Diferentes universidades estadounidenses ofrecen programas interdisciplinarios sobre aspectos del Estudio del Medio Ambiente (Environmental Sciences), que incluyen contenidos científicos, ecológicos, humanísticos, urbanísticos, tecnológicos, y otros.

Sin remontarnos a los programas especialmente destinados a grupos concretos de alumnos, es posible hallar numerosos ejemplos de universidades que requieren de sus estudiantes (tanto de ciencias, como de humanidades o de tecnología) el estudio de componentes conceptuales y metodológicas correspondientes a saberes distanciados de sus campos de especialización. Así, en la Universidad de Lancaster existen cursos de ciencias especialmente diseñados para estudiantes de ramas no científicas; y la Universidad de Keele tiene previsto un primer curso de «fundamentos» para estudiantes de ciencias o de humanidades, con el cual se pretende transmitir una visión integrada de las diferentes ramas de la ciencia (6). Numerosas universidades estadounidenses, y tal como hemos analizado en un reciente trabajo (7), incluyen el estudio de metodología científica, de cursos generales de ciencias, o de aspectos históricos de las mismas, en el currículo de los estudios de Letras y Humanidades. Uno de los centros pioneros en este sentido fue la Universidad de Harvard, en la cual, en los años iniciales de la posguerra, tuvo lugar un fuerte movimiento hacia la «Educación General» de los estudiantes, impulsado por el presidente Conant (8). Hoy en día, sin embargo, se habla más de *Educación Humanística* que de Educación General, dado que esta última encierra connotaciones más tradicionales y menos interdisciplinarias y axiológicas que la primera.

Los estudiantes de Harvard, en los años finales de la década de los 40 y los iniciales de la de los 50, debían seguir un conjunto de asignaturas obligatorias, con las que se pretendía dar una visión globalizada de las diferentes ramas del saber. Las ramas científicas se analizaban normalmente desde un punto de vista histórico, como se indica en el capítulo 8.º. Sin embargo, y como apuntábamos antes, la complejidad actual

de la cultura y las crecientes necesidades de especialización en todos los terrenos han llevado a la concepción más instrumental de una *Educación Liberal o Humanística*. Este tipo de alternativa incluiría una fuerte especialización en una rama y, simultáneamente, un contacto fecundo con otras vertientes de la cultura: este contacto facilitaría la comunicación con otros profesionales, la participación comunitaria y el desarrollo de un sistema axiológico personal, con profunda consciencia de las estructuras sociales, políticas y tecnológicas de la sociedad actual. La educación universitaria, si se lograra romper las barreras divisorias entre zonas del saber, podría jugar un papel de gran relevancia en este sentido. Pero también en los ciclos elementales y secundarios es conveniente introducir de forma adecuada aspectos interdisciplinarios que faciliten el razonamiento comprensivo de los estudiantes, tal como analizamos más adelante.

En el capítulo 9.^o aludimos a distintas vías posibles para lograr una mayor interrelación entre asignaturas y áreas culturales. Adelantándonos a las ideas entonces expresadas, y con objeto de clarificar la terminología utilizada en la actualidad, apuntamos una serie de definiciones de interés al caso que nos ocupa:

Interdisciplinaridad. Hace alusión este término a la búsqueda de relaciones entre ramas del saber tradicionalmente separadas (así, entre las ciencias y las humanidades, las ciencias empíricas y las matemáticas, las humanidades y las matemáticas, las ciencias y la tecnología).

Unificación o Integración. Se refiere este proceso a la localización de componentes conceptuales y metodológicos comunes a las diferentes ciencias experimentales y empíricas (Física, Química, Geología...). Todas ellas se considerarían como derivaciones de un único tronco común. En el capítulo 9.^o se analizan con cierto detalle diferentes vías de unificación o integración didácticas.

Correlación. Las diferentes ramas o asignaturas se considerarían independientes y con entidad propia, pero se utilizarían ejemplos y facetas correspondientes a algunas de ellas para ilustrar conceptos pertenecientes a las otras. Normalmente se

reserva el término «correlación» para el caso de las matemáticas, y su utilización instrumental y metodológica en el desarrollo de las ciencias humanas y naturales. En el último apartado de este capítulo se analizan vías alternativas de correlación entre las matemáticas y las ciencias.

En el caso de la *interdisciplinaridad*, se estudian diferentes aspectos conceptuales y metodológicos desde los puntos de vista de distintos saberes. Este estudio facilita la realización de síntesis mentales, la asociación entre conceptos y la aplicación y transferencia a otros campos culturales. Algunos ejemplos ayudarán a comprender la importancia de este enfoque:

— La problemática del medio ambiente se puede analizar, tanto en los niveles primarios como en los secundarios, con la intervención del profesorado de diferentes áreas educativas (9). Así, el profesor de Física y Química y el de Biología, junto con profesores de Geografía e Historia (Área Social y Cultural), pueden estudiar conjuntamente diferentes aspectos ambientales, y someterlos a la consideración y la discusión de los alumnos de un grupo concreto.

— Mediante trabajos en grupo o seminarios de presentación-discusión, es posible analizar diferentes aspectos interdisciplinares del mundo actual (socio-políticos, económicos, etc.). Lógicamente, se requeriría para este fin de la colaboración del profesorado de las diferentes especialidades.

— El profesor de Matemáticas puede ilustrar diferentes vertientes de las ciencias sociales, en lo que se refiere al análisis metodológico de datos (interdisciplinaridad matemáticas-ciencias humanas). También puede utilizar ejemplos extraídos de las ciencias naturales o las ciencias sociales para explicar convenientemente diferentes enfoques aplicados (estadísticos, geométricos, analíticos). Este último caso puede considerarse como un ejemplo de «correlación» entre disciplinas.

— El profesorado de Ciencias, junto con el de Humanidades y de Actividades Técnico-Profesionales, podría desarrollar diferentes seminarios y grupos de trabajo en torno al estudio de la tecnología y sus incidencias sociales (el caso de la educación tecnológica se ha analizado en el capítulo anterior).

Los enfoques interdisciplinarios son múltiples y variados, y al profesorado del centro educativo compete localizar formas y modos de romper las barreras y divisiones entre las ramas del saber; también le compete la construcción de síntesis conceptuales y metodológicas que faciliten la comprensión del mundo natural, social y tecnológico en que están inmersos los alumnos. El método de proyectos, presentado en el capítulo 6.º, es uno de los muchos caminos abiertos hacia la formación interdisciplinaria. Los ejemplos antes presentados, así como la discusión que iniciamos seguidamente en torno a las interrelaciones matemáticas-ciencias, suponen diferentes vías alternativas de acción.

IV.3. CIENCIAS Y MATEMATICAS

Aunque, de acuerdo con la clasificación del profesor París, las matemáticas pueden ser consideradas como «ciencias formales», nosotros reservamos el término «ciencia» para las ramas empíricas y experimentales, tal como hemos señalado en otro lugar. En este sentido, las Matemáticas tendrían una relación indirecta con el mundo empírico, constituyendo el instrumento de tipo lógico-formal de que se sirve el investigador en el análisis de datos y el planteamiento de modelos. Tanto la metodología inductiva como la deductiva harían uso de las herramientas formales y de cálculo, paralelamente a la utilización del material experimental y de laboratorio (véase el capítulo 6.º).

Los antecedentes históricos de las Matemáticas actuales han discurrido de forma muy congruente con el devenir de las ciencias empíricas.

Así, el nacimiento de la Astronomía, en la antigua Babilonia, estuvo en manos de los «sabios» o «matemáticos» de la época. A lo largo de muchos siglos los nombres más destacados en el mundo del pensamiento cabe localizarlos simultáneamente en la Historia de las Ciencias y en la de las Matemáticas. En la época alejandrina, dentro del ámbito cultural helénico, los

geómetras destacados solían ser a la vez físicos y tecnólogos de renombre: las construcciones mentales de tipo matemático se inspiraban con frecuencia en el mundo empírico y, a su vez, la ciencia se nutría de las herramientas lógicas aportadas por los geómetras y aritméticos.

El nacimiento de la Física Moderna, a manos de Galileo, Kepler, Newton y otros, también ha dependido de forma muy precisa de la evolución de la Geometría y el Cálculo. Es difícil, por poner un ejemplo, que hubieran visto la luz las Leyes de Kepler sin un adecuado conocimiento previo de las propiedades de las elipses y las cónicas; ni las Leyes de Newton sin el cálculo de fluxiones o análisis infinitesimal. Hoy en día las ramas más avanzadas de la Física y la Química, tanto teóricas como experimentales y aplicadas, se apoyan sobre un conjunto de entes y construcciones de naturaleza matemática de creciente complejidad y sofisticación. Y tampoco se salva de esta realidad la Biología (pensemos en las modernas aplicaciones de la Bioestadística). Una encuesta realizada por el Comité Británico para la Enseñanza de la Química (British Committee on Chemical Education) entre profesores de Química de los ciclos secundarios ha puesto de evidencia las siguientes necesidades de conocimientos matemáticos por parte de los alumnos (10):

— Once a catorce años de edad («O-Level» o Nivel Ordinario, dentro del sistema educativo inglés). Contenidos incluidos: combustión, átomos y moléculas, peso y volumen. Necesidades matemáticas: reglas de cálculo aritmético, proporcionalidad, cantidades positivas y negativas, relaciones y porcentajes, fracciones decimales, gráficos, uso de la regla de cálculo.

— Catorce a dieciséis años (cursos finales del «O-Level»). Contenidos: leyes de los gases, formulación química, termoquímica, curvas experimentales (11). Herramientas matemáticas adicionales: ecuaciones algebraicas lineales, cifras significativas, cantidades inversas.

— Dieciséis a dieciocho años («A-Level»: Nivel Avanzado o Preuniversitario). Temas: cinética química, espectroscopia, estructura química, equilibrios. Requisitos de cálculo: análisis matemático (sobre todo, del tipo diferencial-integral), funcio-

nes exponenciales, logaritmos naturales, geometría y trigonometría, ecuaciones cuadráticas.

Las anteriores observaciones no deben tomarse como un apoyo a la «matematización» de la enseñanza científica. Desgraciadamente, esto ha tenido lugar, en el caso de la Física, en grados superiores al que sería más tolerable. Con más frecuencia que no, se ha tendido a enseñar más «Matemáticas aplicadas» que Física o Química. Muchas veces se han visto los alumnos sometidos a la realización de cálculos complejos (o sencillos) que han hecho perder de vista el contenido empírico y experimental, así como el sentido científico, de los temas enseñados. Conviene reflexionar sobre este punto con suficiente atención y recordar en todo momento que se trata de *enseñar ciencia*, constituyendo las Matemáticas una herramienta de apoyo y sostén y no el centro de una metodología excesivamente deductiva y lógico-formalista (véase, en relación con esto, el capítulo 6.º).

Puede darse el caso, por ejemplo, de que un alumno aprenda a «calcular» con precisión las cantidades transformadas en un proceso de desintegración nuclear o en el caso de determinadas reacciones químicas de primer orden, y no tener una conceptualización adecuada del sentido molecular y subatómico de dichos procesos. Lo importante, en el caso de la enseñanza elemental y secundaria, es la comprensión y el razonamiento, más que el desarrollo de habilidades especializadas de cálculo aplicado.

IV.4. ASPECTOS PEDAGOGICOS (12)

Con frecuencia, se quejan los profesores de la escasa transferencia existente entre los conocimientos matemáticos y la capacidad de aplicar los mismos en la resolución de problemas de orden científico. Así, Quadling se ha expresado en el sentido de que «los procesos con los cuales los alumnos aparecen perfectamente familiarizados en un contexto matemático comportan notables dificultades cuando se trata de ponerlos en juego en un cálculo de tipo científico» (13). Las Matemáticas,

indudablemente, encierran valores formativos propios (dado que favorecen el desarrollo de esquemas, estructuras y razonamientos de tipo lógico-formal), pero tienen también un carácter instrumental y aplicado que no conviene desdeñar.

Gran parte de la actual hostilidad hacia las mal llamadas «Matemáticas modernas» procede del hecho de su polarización hacia las estructuras formales y no hacia las vertientes aplicativas. «En otras épocas —se suele decir— los chicos eran capaces de realizar cálculos y apreciaciones numéricas que hoy no pueden hacer fácilmente.» Esta crítica, si hemos de ser justos, no se puede apoyar de una forma total, pero sí parcialmente. En la enseñanza de las Matemáticas, lo mismo que en el caso de las restantes áreas educativas, se corre el peligro de crear barreras y divisiones interdisciplinarias que dificultan notablemente el desarrollo de las estructuras mentales de síntesis y aplicación. Y éste es un aspecto que no conviene perder de vista, como hemos apuntado anteriormente en este mismo capítulo.

Como salida de estos problemas planteados, son varias las posibles alternativas de acción:

— En un extremo se situaría la que podríamos denominar «postura tradicional». En esta postura se respetaría al máximo la autonomía o idiosincrasia de cada asignatura, pero se procuraría (siempre dentro del marco de la disciplina) utilizar ejemplos y aplicaciones de otras áreas para lograr una mejor síntesis conceptual («*correlación*» interdisciplinar).

— En un nivel intermedio, se procuraría coordinar la enseñanza de las distintas asignaturas, de tal manera que se introdujesen en la enseñanza de las Matemáticas (pongamos por caso) conceptos y operaciones de cálculo de valor instrumental para otras disciplinas («*coordinación*» interdisciplinar). Pero se respetaría, por otra parte, la naturaleza propia y la lógica formal de dicha enseñanza.

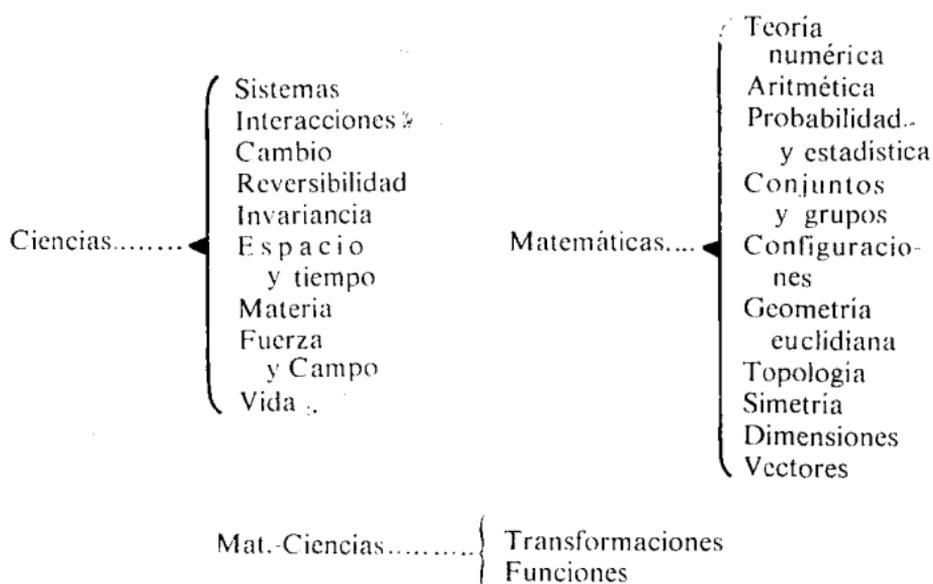
— Una postura extremada y radical es la que rompe la tradicional estructura de las asignaturas y áreas, y favorece la enseñanza de las mismas como diferentes aspectos de una misma ciencia o tronco del saber («*unificación* o *integración*»)

interdisciplinar). Presentamos más adelante un ejemplo concreto de esta última postura.

Las líneas de coordinación y de unificación han sido defendidas por numerosos autores en el caso de la enseñanza primaria y elemental. Así, Kurtz y James suponen que un alto grado de *integración entre las enseñanzas científicas y matemáticas* en los niveles elementales puede facilitar en gran manera el desarrollo de los procesos de síntesis y de transferencia conceptual-metodológica (14). Es en el caso de la enseñanza elemental donde se han estructurado cursos unificados de Ciencias-Matemáticas, procurándose transmitir una imagen integrada de dichos saberes.

Un clásico ejemplo de curso integrado lo ofrece el MINNE-MAST (Minnesota Mathematics and Science Teaching Project), desarrollado a partir de 1961 bajo la dirección de Paul Rosenbloom (15). La filosofía del proyecto se basa en una consideración unitaria de las áreas científicas y matemáticas, de tal manera que no se establecen barreras o separaciones disciplinares entre ambas. Se procura constantemente que los conceptos y métodos matemáticos se apliquen de forma racional al estudio del mundo empírico. Las operaciones de tipo aritmético y geométrico, con transferencia y aplicabilidad al estudio elemental de las ciencias de la naturaleza, son múltiples y variadas (clasificación, medición, representación gráfica, cálculos estadísticos...), y en todas ellas hace este proyecto didáctico un decidido énfasis.

El curso se estructura en torno a unidades didácticas que se centran prioritariamente en el campo científico o en el matemático, de forma alternada, pero con constantes aplicaciones y transferencias al otro campo. Los contenidos incluidos son los siguientes:



Como ejemplo de la alternancia existente en este proyecto entre las áreas científica y matemática, reseñamos a continuación los títulos de las unidades correspondientes al Grado K (Kindergarten) y al Grado 4.^o (nueve-diez años de edad):

- Grado K.*
- Unidad 1. Observando y admirando
 - Unidad 2. Curvas y formas
 - Unidad 3. Describiendo y clasificando
 - Unidad 4. Usando nuestros sentidos
 - Unidad 5. Introduciendo la medida
 - Unidad 6. Numeración
 - Unidad 7. Introduciendo la simetría

- Grado 4.^o*
- Unidad 31. Vectores y campos
 - Unidad 32. Invariancia en sistemas
 - Unidad 33. Divisiones numéricas
 - Unidad 34. Nuestro cambiante mundo
 - Unidad 35. Fracciones y relaciones
 - Unidad 36. Probabilidad
 - Unidad 37. Cómo \times Por qué = Qué
 - Unidad 38. La música de las esferas

En los niveles secundarios y superiores tienen menos sentido los enfoques unificados o integrados, y conviene moverse hacia las líneas de *coordinación* y *correlación*. En el primero de estos enfoques, los profesores de ciencias procurarían hacer uso de conceptos y métodos de cálculo desarrollados por los de Matemáticas, mientras que estos últimos utilizarían ejemplos extraídos del mundo científico y empírico para la explicación de determinados aspectos de orden lógico-formal. En el caso de la coordinación, se pondría de acuerdo el profesorado de ambas ramas para la introducción de ciertos tópicos en el orden más adecuado y operativo para facilitar la enseñanza en el otro campo. Así, en el caso de que la enseñanza de la Física requiriese del dominio previo de determinadas facetas del cálculo vectorial (por poner un ejemplo), el profesor de Matemáticas haría énfasis en las mismas en el momento más adecuado. Este enfoque encierra numerosos problemas, dado que cada asignatura y materia escolar tiene sus propias necesidades de establecer un determinado orden prioritario y secuencial de contenidos. Pero, aun respetando al máximo la idiosincrasia de cada área educativa, es posible lograr mejores y más fecundos resultados mediante una adecuada coordinación interdisciplinar.

El enfoque que se apoya en la correlación de contenidos, antes analizado, encierra también una serie de problemas nada desdeñables. Entre dichos problemas, cabe destacar los siguientes (16):

- Desconocimiento del lenguaje, los conceptos y la metodología de las «Matemáticas modernas» por parte de un elevado porcentaje del profesorado de las ramas científicas (Física, Química, Ciencias Naturales).
- Falta de percepción, por gran parte de dicho profesorado, del sentido y la naturaleza de los nuevos enfoques didácticos en la enseñanza de las Matemáticas.
- Defectos de formación y escasa iniciativa, en lo que se refiere al profesorado de Matemáticas, para utilizar en sus clases ejemplos y aplicaciones correspondientes al mundo científico y experimental.

Esta problemática puede encontrar una salida adecuada a partir de una serie de medidas, de muy diferente índole. Cabe destacar, en esta línea, las siguientes vías de acción que conviene ir potenciando en los centros docentes de los niveles elemental y secundario:

1. Creación de una mayor *conciencia interdisciplinar*, que contribuya a romper las barreras entre materias y áreas educativas y que facilite la transferencia de conocimientos y el desarrollo sintético del razonamiento de los alumnos.

2. Desarrollo de esquemas de formación inicial y permanente del profesorado («reciclaje»), enfocados a la resolución de los baches y las lagunas formativas existentes; estas últimas dependen, en gran medida, de una estricta especialización universitaria, carente de una adecuada relación con los restantes campos del saber.

3. Potenciación de *estructuras escolares interdisciplinares*, mediante una mayor coordinación entre el profesorado y un más efectivo trabajo de programación en equipo por parte de los distintos seminarios y departamentos didácticos.

Aunque, en estos dos últimos apartados del capítulo, nos hemos centrado en el caso de la interrelación Ciencias-Matemáticas (dado el carácter instrumental de estas últimas para la enseñanza de las áreas empírico-experimentales), gran parte de la problemática analizada tiene sentido para el caso de las interrelaciones entre las ciencias y las otras disciplinas escolares.

IV.5. RESUMEN DEL CAPITULO

La moderna especialización cultural, que tanto ha contribuido al avance del saber, encierra un peligro que ha sido apuntado en numerosas ocasiones a lo largo de los últimos años: la creación artificial de barreras divisorias entre las distintas áreas, que puede contribuir a dislocar y romper las estructuras culturales en parcelas disconexas y escasamente relacionadas. Simultáneamente, y por contraste, ha surgido una mayor relación operativa entre diferentes vertientes del saber, que ha

dado a la luz un conjunto de ciencias de carácter interdisciplinar (la bio-estadística, la psico-sociología, la planificación económica, etc.).

Hoy en día, más que nunca, se impone la búsqueda de estructuras interdisciplinarias en el ámbito educativo. Una más estrecha colaboración entre el profesorado de Ciencias y de las restantes parcelas educativas, en la búsqueda de aspectos conceptuales y metodológicos comunes y relacionados, es fundamental. En este capítulo se analiza detalladamente toda esta problemática y se aventuran posibles soluciones. La franja de interfase estudiada con más detalle es la situada entre las Ciencias (empíricas y experimentales) y las Matemáticas. Se localizan las interrelaciones existentes entre ambos campos y se buscan diferentes soluciones alternativas para el logro de estructuras educacionales interdisciplinarias de interés.

CUESTIONES DE APLICACION Y AUTOEVALUACION

1. Revise los capítulos en los que se estudia la estructura del proceso científico (2.º y 6.º, principalmente) y localice las líneas de interrelación entre el desarrollo de las Ciencias y el de las Matemáticas. Procure extraer consecuencias didácticas de dicho análisis.

2. Consiga algunos libros centrados en la Historia de las Matemáticas y en la Historia de las Ciencias, e intente dilucidar canales y estructuras de influencia mutua en el desarrollo de ambos campos.

3. Haga un estudio crítico de diferentes libros de texto (tanto en el campo de las Matemáticas como en el de las Ciencias) utilizados normalmente en la enseñanza de su nivel docente. Este estudio debe centrarse en los siguientes puntos:

— Localización de desajustes en la introducción de conceptos matemáticos que tengan valor instrumental para la enseñanza científica.

- Grado de transferencia y aplicabilidad de los contenidos incluidos en otros campos y áreas (es decir, nivel de apertura de los libros de texto).
- Riqueza en la utilización de ejemplos, terminología y conceptos de otras áreas para ilustrar los contenidos propios.

4. Realice algún ejercicio de programación interdisciplinar con otros profesores de su mismo nivel (en relación con los diferentes esquemas y modos de programación, véase el capítulo 9.º). Con ayuda de dichos profesores, localice los aspectos que requieren una especial atención por su valor instrumental para las otras áreas. Haga ver al profesorado de Matemáticas las necesidades de conocimientos de cálculo y geometría para el estudio de los contenidos científicos. Entre todos, localicen puntos que pueden ser abordados desde diferentes perspectivas, con objeto de programar estudios y seminarios de tipo interdisciplinar.

5. Estudie con detalle los textos que se utilizan en su centro docente para la enseñanza de las Matemáticas. Procure asimilar convenientemente la terminología y los métodos de trabajo utilizados, con objeto de enriquecer la enseñanza del área científica que tenga encomendada.

REFERENCIAS

(1) SNOW, C. P. *The Two Cultures and A Second Look*. Cambridge Univ. Press, Cambridge, 1964. Hay traducción.

(2) KEILHACKER, M. *Pedagogía de la época técnica*. Ed. Kapelusz, Buenos Aires, 1964 (edición original, por Ernst Klett Verlag, Stuttgart, 1961).

(3) GOZZER, G. y otros. *La educación tecnológica: documentos para una investigación*. Ed. El Ateneo, Buenos Aires, 1972 (ed. original por el Centro Europeo dell'Educazione, Villa Falconieri, Frascati).

(4) Cf. McGUIRE, E. J. «Alfred North Whitehead and the Teaching of Science in the Secondary School», en *School Science and Mathematics*, Vol. LXXVI, Núm. 5, pp. 425-431 (1976).

(5) JEVONS, F. R. *The Teaching of Science. Education, Science and Society*. Allen and Unwin, Londres, 1969.

(6) GOODLAD, J. S. *Science for Non-Scientists*. Oxford Univ. Press, Oxford, 1973.

(7) FERNANDEZ URÍA, E. «El estudio de las ciencias de la naturaleza como parte de la educación general», en *Educadores*, Núm. 85, pp. 659-673, 1975.

(8) HARVARD UNIVERSITY COMMITTEE. *General Education for a Free Society*. Harvard Univ. Press, 1945.

(9) PETERSON, R. P.; HALL, S. K. «Environmental Education for the Non-science Major», en *Science Education*, 58 (1), pp. 57-63 (1974). Cf. también: VON BLUM, W. «Biology and Society: A Curriculum Prospect», en *The American Biology Teacher*, 33: 208, 1971.

(10) «Mathematics and School Science», en *Education in Science*, Núm. 56, pp. 14-21 (1974).

(11) Un resumen del programa inglés, en el caso de los cursos Nuffield, lo ofrecemos en el capítulo 12.º.

(12) La mayor parte de las ideas aquí expresadas las hemos recogido en nuestro trabajo «La integración didáctica de las Ciencias de la Naturaleza y las Matemáticas», *Educadores*, n.º 95, Nov.-Dic. 1977.

(13) QUANDLING, D. A. «Mathematics and School Science», en *Education in Science*, Núm. 64, Sept. 1975.

(14) KURTZ, R.; JAMES, R. K. «Implementation of An Integrated Program of Science: A Process Approach and Nuffield Mathematics», en *School Science and Mathematics*, Vol. LXXV, Núm. 3, pp. 258-266, 1975.

(15) BRAY, E. C. «MINNEMAST: An Elementary Math-Science Program», en *School Science and Mathematics*, Vol. LXIX, Núm. 6, pp. 541-547 (1969). La dirección del proyecto es la siguiente: Minnesota Mathematics and Science Teaching Project, 720 Washington Ave, S. E., Minneapolis, Minnesota 55414 (USA).

(16) HARPER, T. J.; HARVEY, T. J. «A Possible Solution to the Maths/Science Dilemma», en *Education for Teaching*, Núm. 95, pp. 44-50 (1974).

BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTARIA

- BAKER, B.: KOTSONIS, H. H. *Modern Lesson Plans in Environmental Science*. Prentice-Hall, 1972.
- BELL, D. *The Reforming of General Education*. Columbia Univ. Press, Nueva York, 1966.
- CONSERVATION EDUCATION PROJECT (P. Kelly, J. Barker, directores). Realizado por el Centre for Science Education, Chelsea College, Londres. Evans Brothers Ltd., Londres, 1975 (4 volúmenes).
- IBAÑEZ-MARTIN, J. A. *Hacia una formación humanística: objetivos de la educación en la sociedad científico-técnica*. Ed. Herder, Barcelona, 1975.
- JARRET, J. E. *The Humanities and Humanistic Education*. Addison-Wesley, Reading, 1973.
- JONES, W. T. *The Sciences and the Humanities*. Univ. of California Press, 1967.
- MARIN IBAÑEZ, R. *La interdisciplinaridad y la enseñanza en equipo*. ICE de la Univ. Politécnica de Valencia, 1975.
- NORTHROP, F. S. C. *The Logic of the Sciences and the Humanities*. The World Pub. Co., Nueva York, 1959 (1.ª ed., de 1947).
- SANABRIA, José Maria. *La educación en la sociedad industrial*, EUNSA, Pamplona, 1969.
- SCHOOLS COUNCIL PROJECT ENVIRONMENT (R. W. Colton, R. F. Morgan, directores). Longman, 1975. Varios libros.
- SCHROEDINGER, E. *Ciencia y Humanismo*. Alhambra, Madrid, 1954.
- SHERIF, M.: SHERIF, C. W. (eds.) *Interdisciplinary Relationships in the Social Sciences*. Aldine, Chicago, 1969.
- SKEMP, R. S. *The Psychology of Learning Mathematics*. Penguin, 1971.
- TIERNO GALVAN, E. *Humanismo y Sociedad*. Seix y Barral, Barcelona, 1964.
- USMES (Unified Science and Mathematics Education in the Schools). *Goals for the Correlation of Elementary Science and Mathematics*. Houghton Mifflin, Boston, 1969.
- WHITEHEAD, A. N. *Los fines de la educación*. Paidós, Buenos Aires, 1965 (1.ª ed., de 1924).
- YUDKIN, M. *General Education: A Symposium on the Teaching of Non-specialists*. The Penguin Press, 1969.

V. LA PSICOLOGIA Y EL APRENDIZAJE DE LAS CIENCIAS. PIAGET Y LA DIDACTICA ELEMENTAL

V.I. INTELIGENCIA, APRENDIZAJE Y DESARROLLO

En los anteriores capítulos se han analizado diversos aspectos de la estructura de la ciencia, que consideramos de interés para la formación del profesorado de los diferentes niveles. Este análisis puede ayudar a reflexionar sobre el «qué enseñar», uno de los tres componentes básicos del tripode didáctico (los otros dos serían: el alumno, y los procedimientos didácticos). Tanto la materia a transmitir, como las características de los educandos y los procedimientos didácticos, deben ser tenidos muy en cuenta para lograr una enseñanza eficaz y adecuada. El fallo de cualquiera de los tres soportes del armazón didáctico puede poner en peligro la coherencia del sistema educativo. Así, por ejemplo, puede darse el caso de una enseñanza adecuada a la psicología del alumno, pero irrelevante para sus necesidades futuras y las de la sociedad de la que forma parte; en este caso fallaría el «qué» o, dicho con otras palabras, no se habría hecho un análisis adecuado de los contenidos a transmitir y de los objetivos de conducta a conseguir.

Dichas tres componentes, a su vez, están íntimamente relacionadas. En el caso que nos ocupa en este libro, por ejemplo, las características de la Ciencia (epistemológicas, lógicas, sociológicas e históricas) deben inspirarnos métodos didácticos coherentes con las mismas y adecuados a la psicología del alumno. De igual manera, los intereses del alumnado, así como sus procesos de aprendizaje y desarrollo, deben servir como fuentes de objetivos en los diferentes niveles educacionales (básico, medio y superior).

En este capítulo estudiaremos brevemente diferentes aspectos de los procesos de aprendizaje y maduración, y extraeremos algunas conclusiones en el plano didáctico. Gran parte de los contenidos se dedican a los trabajos de Piaget, y se realizan algunas reflexiones en relación con la enseñanza de las ciencias en los niveles básico-elementales (diferentes etapas de la E.G.B., en nuestro país).

Para empezar, algunas consideraciones en torno a los cuatro conceptos básicos de *inteligencia, aprendizaje, maduración y desarrollo*. En ocasiones se corre el peligro de utilizar una determinada terminología sin precisar suficientemente las connotaciones y significados de la misma, y de ahí la importancia de delimitarla con precisión. En este caso, y dado que se hará uso de los anteriores términos en diferentes lugares del capítulo, interesa definir el campo de aplicación de los mismos. En nuestra experiencia personal hemos podido constatar el uso indiscriminado de varios de dichos vocablos, incluso de forma intercambiable. Así, en ocasiones se confunde maduración con desarrollo e, incluso, con inteligencia. Esta situación puede dificultar notablemente la comunicación entre profesionales y la discusión e intercambio de puntos de vista didácticos.

En relación con el término *inteligencia*, se ha puesto de evidencia en diferentes ocasiones la diversidad de criterios con que es utilizado (1). Para Terman, por ejemplo, inteligencia sería la habilidad de realizar pensamiento abstracto; para Woodrow, la capacidad de aprendizaje; para Thorndike (conductista), la capacidad de dar buenas respuestas ante determinados dilemas o situaciones. Se han aventurado incluso definiciones operacionales: inteligencia sería, en este sentido, «lo que miden los tests». Esta última definición, aunque práctica, es poco trascendente, dado que en la elaboración de estos tests se debería tener en cuenta una teoría previa acerca de los procesos intelectuales. La identificación de la inteligencia, finalmente, con la «capacidad de adaptación al medio circundante» es poco realista, dado que a lo largo de la historia han existido pensadores de gran prestigio que han sufrido notables fracasos en los órdenes social y profesional.

Hoy en día se suele hablar más de los *factores intelectuales*, así como de las *operaciones y habilidades intelectivas*, para poner de manifiesto el carácter múltiple y complejo de la capacidad discursiva. A un nivel experimental, interesaría descubrir las interrelaciones existentes entre los diferentes factores y habilidades, así como entre dichos factores y los procesos de enseñanza-aprendizaje. De todas formas, y dado que nos interesa utilizar el término «inteligencia» de forma unívoca y no confusa, aceptamos en nuestro trabajo la concepción de Jean Piaget (2), que se centra sobre la *capacidad de realizar operaciones intelectuales* (teoría operacionalista), las cuales definimos y analizamos con un cierto grado de precisión más adelante.

Desde este último punto de vista, el *desarrollo*, entendido en un sentido psicológico, estaría relacionado con el crecimiento intelectual, o aumento de las capacidades operativas intelectuales. Este desarrollo sería el fruto o resultado de la interacción de dos aspectos diferentes dentro de la persona: el *aprendizaje* y la *maduración*. Es factible, de esta forma, expresar la siguiente igualdad:

$$\text{desarrollo} = \text{aprendizaje} \times \text{maduración}$$

La *maduración* la entendemos, desde un punto de vista biológico, como un cambio profundo de las características y potencialidades del substrato físico de la persona (sistemas cerebral y neuronal). Existe un proceso natural de maduración al transcurrir las diferentes etapas del crecimiento infantil, en el cual se superponen aspectos psicológicos con los fisiológicos y los afectivos. Es este proceso el que ha sido magistralmente estudiado por Piaget, y el que tendremos en cuenta más adelante en este mismo capítulo.

Junto a este proceso de maduración psicobiológica, conviene tener en cuenta también las estructuras de *aprendizaje*, tanto del organizado o escolar, como el extraescolar o no organizado. Al educador, y al estudioso de las ciencias pedagógicas en general, interesa conocer con exactitud las características de la interacción entre ambos procesos, así como su

influencia sobre el desarrollo del individuo, dado que *es este desarrollo el objetivo fundamental del proceso* educativo. Como es lógico, en este capítulo nos limitamos a presentar solamente un esbozo inicial del problema (en otros lugares del libro se tocan otras facetas también relacionadas, no obstante). Invitamos al lector a revisar la bibliografía propuesta, así como a realizar sus propias observaciones en el entorno profesional.

El *aprendizaje*, de acuerdo con Gagné (3), se definiría como un cambio en las disposiciones o capacidades humanas (desarrollo) que no puede adscribirse simplemente al proceso de maduración. El aprendizaje, por lo tanto, no incide solamente sobre los aspectos intelectuales (*capacidades*), sino también sobre las facetas afectivas y actitudinales (*disposiciones*). En cuanto a la adquisición del aprendizaje, se han propuesto desde finales del siglo XIX diferentes teorías que han analizado los diversos factores de la interacción de los estímulos externos con las características personales y con el desarrollo del individuo. Las más sobresalientes, de entre éstas, serían las siguientes:

— La *psicología de las facultades*, de Herbart (4), que se apoyaba sobre el valor de la disciplina mental. Esta teoría, ampliamente superada, suponía que ciertos ejercicios apropiados (de matemáticas, lenguas clásicas, etc.) desarrollarían las facultades de la mente, las cuales intervienen sobre las diferentes capacidades personales (transferencia del aprendizaje o *transfer*). Todavía hoy en día, cuando se dice que la enseñanza de disciplinas de contenido científico contribuye a «desarrollar la mente», nos encontramos inmersos en esta concepción.

— La *teoría del desarrollo natural* (de Rousseau y otros) se basa en la concepción de que un ambiente o entorno «natural» contribuiría de forma decisiva a favorecer el desarrollo del individuo. Fruto de esta concepción han sido diferentes estructuras escolares, como las escuelas Dalton, la escuela de Summerhill, etc., que promueven un determinado clima de libertad e iniciativa de los alumnos. Aunque en gran medida esta teoría haya sido superada por otras más precisas y analíticas, no

conviene despreciar a priori sus puntos positivos y sus aportaciones experimentales.

— *Teorías asociacionistas*. Se englobarían aquí una gran variedad de modelos del aprendizaje que hacen énfasis en la adquisición de *hábitos* de razonamiento y de actitudes («respuestas») a partir de un conjunto de estímulos reforzados. El aprendizaje, de acuerdo con esta línea de pensamiento, podría reflejarse en el siguiente esquema:

Estímulo → Respuesta → Refuerzo

A un nivel de investigación, se trataría de descubrir las estructuras de aprendizaje más eficaces para lograr una serie de respuestas o conductas prefijadas. Diferentes psicólogos de gran renombre, como son Thorndike, Watson, Skinner, Guthrie, Hull y, finalmente, Tolman, han aventurado diferentes interpretaciones dentro de esta estructura asociacionista.

— *Teorías de la Gestalt* (de «gestalt», que significa «imagen» o «configuración» en lengua alemana). Se centran en el estudio de las influencias de las percepciones globales y de los conjuntos coherentes, con preferencia a las de sus diferentes partes. Es indudable que las *estructuras* bien organizadas favorecen el aprendizaje y la conceptualización, como analizamos en el siguiente apartado, y de aquí el interés de las teorías gestaltianas. Las ideas de Lewin y de Tolman, creadores de la llamada psicología del «campo», pueden ser incluidas aquí (5).

— *Las teorías funcionalistas*, de William James y John Dewey. Estas teorías, notablemente influenciadas por las ideas de Darwin relativas a los procesos de adaptación, se han centrado en las llamadas *funciones mentales* y en los intereses e impulsos personales, todos ellos jugando un papel de relevancia en los procesos de aprendizaje. No es posible, de acuerdo con estos autores, disociar el aprendizaje de la motivación y de los sistemas axiológicos individuales, y conviene que los objetivos didácticos tengan relevancia y sentido, y resulten de interés para el alumno. Los funcionalistas están muy relacionados con el *pragmatismo* y hacen énfasis, en este sentido, sobre los

hábitos las experiencias y las vivencias personales (para W. James, por ejemplo, la educación puede ser definida como una organización de hábitos de comportamiento y el desarrollo de una especial inclinación a la acción). De acuerdo con las palabras del propio Dewey (6): «Si una experiencia suscita curiosidad, fortalece la iniciativa propia, y establece deseos y propósitos que sean suficientemente intensos..., la experiencia se transforma en una fuerza motriz»; el papel del profesor es fundamental, dado que «su mayor madurez de experiencia le coloca en posición adecuada para evaluar cada experiencia de los jóvenes, posición que no tienen estos últimos debido a su inmadurez».

— Las *teorías de Piaget y de Vygotsky*, relacionadas con los procesos de desarrollo infantil, que se recogen en otro apartado de este capítulo.

V.2. PSICOLOGIA Y DIDACTICA: REFLEXIONES DE CARACTER BASICO Y GENERAL

Como decíamos anteriormente, el conocimiento del alumno y de sus procesos de aprendizaje-desarrollo constituye uno de los tres pilares básicos sobre los que se debe asentar el edificio educacional. En este sentido, la familiaridad con algunas nociones elementales de la psicología de la educación puede resultar de gran interés, con vistas a obtener conclusiones didácticas relevantes para la enseñanza de las ciencias. En este apartado intentamos motivar a la reflexión sobre determinados conceptos psico-didácticos de validez general, y en el siguiente nos centraremos en los niveles educacionales básicos. La mayor parte de las ideas expresadas son, con toda seguridad, ampliamente conocidas por el lector; nuestro objetivo al reflejarlas en este capítulo radica más bien en la creación de un cierto nivel de interés para conducir a una aplicación consciente y adecuada de dichas ideas. Conviene, en este sentido, reflexionar en torno a los siguientes puntos:

1. La *motivación* (de acuerdo con las doctrinas pragmatistas y funcionalistas) juega un papel primordial y fundamental

en el proceso del aprendizaje. Quizá resulta, por consiguiente, un poco artificial la separación entre objetivos educacionales de tipo cognoscitivo y de tipo afectivo, como ha hecho Bloom y hemos recogido nosotros en el primer capítulo.

La motivación y el interés son también elementos clave en el refuerzo y la persistencia del aprendizaje («no bebe el caballo que no tiene sed», como muy bien ha dicho Freinet). Gran parte de los enfoques modernos en la didáctica de las Ciencias, como presentamos en otros lugares del libro, hacen uso fundamental de procesos de tipo inductivo y experimental, en ocasiones, más con finalidades de motivación que de aprendizaje metodológico. Siguiendo a Freinet, «con la insistencia o brutal autoridad se corre el peligro de suscitar en los alumnos una especie de asco fisiológico hacia el alimento intelectual». En relación con este punto, «todo método que abra el apetito de saber y aguce la poderosa necesidad de trabajo, es bueno» (7).

2. Se suele hablar de motivaciones de tipo extrínseco y *motivaciones de orden intrínseco*. Mientras que en las últimas la raíz o fuente de interés radica en la misma materia de aprendizaje, en el caso de las primeras se encuentra fuera de dicha materia; ejemplos de motivaciones extrínsecas serían: el interés por aprobar, por destacar sobre los compañeros de curso, por dar satisfacciones a los padres, etc. En gran medida, los intereses extrínsecos a la materia tienen un carácter artificial y temporal, y de ahí la conveniencia de desarrollar y potenciar los de tipo intrínseco. Esto no es siempre fácil de llevar a cabo, y no cabe duda que existen notables diferencias en el profesorado y el alumnado en cuanto a las posibilidades de interesar y motivar se refiere; está claro, en relación con esto, que el profesor debería dar muestras de interés y entusiasmo por lo que enseña, dado que no se puede motivar sin disponer de fuertes motivaciones personales, «contagiables» fácilmente.

3. Se ha demostrado que el aprendizaje y la motivación crecen cuando lo que se enseña *tiene sentido* para el alumno. Pocas cosas son más contraproducentes, desde el punto de vista pedagógico, que la necesidad de dominar conceptos y contenidos que resultan extraños y ajenos a la mentalidad del

educando. El estudio enraizado en la autoridad del profesor y de los estamentos docentes, en la insistencia paterna y en «necesidades» futuras remotas o imperceptibles puede ser eficaz a corto plazo, pero no muy eficiente en la línea de desarrollo de actitudes positivas e intereses intelectuales duraderos. Es importante, en relación con este aspecto, intentar *dar sentido* a lo que se enseña, bien relacionándolo con las vivencias y experiencias del alumno, bien entroncándolo en necesidades próximas ostensibles, etc. Todo esto, repetimos una vez más, no es nada fácil; ahora bien, dada la crisis de autoridad existente actualmente, se evidencia con gran fuerza la conveniencia de estructurar programas de estudio que hagan uso exhaustivo de enfoques intrínsecos y que contribuyan a despertar el interés y las motivaciones del alumnado.

4. Es importante utilizar *estímulos positivos*, verbales y no verbales, con frecuencia. El alumno sufre frustraciones, que pueden llegar a alcanzar cotas elevadas, cuando su auto-imagen se deteriora con ocasión de fracasos o descréditos ante sus compañeros. De ahí la conveniencia de huir de los enfoques negativistas (críticas en público, ridículos acentuados por el profesor...), que contribuirían a disminuir el auto-concepto del alumno. Se ha demostrado, en esta línea, la ineficacia de los castigos como técnica para la eliminación de los comportamientos contra los que van dirigidos. En ocasiones, no obstante, puede ser necesario hacer uso de estimulaciones negativas, pero deberían ser la excepción más que la regla (además, es importante conocer a cada alumno en particular, y localizar los tipos de enfoques más convenientes en cada caso).

5. La enseñanza programada, así como las teorías de tipo conductista, nos enseñan una lección importante: la conveniencia de *reforzar el aprendizaje*, mediante técnicas de diversa naturaleza. Los exámenes y evaluaciones, por ejemplo, pueden servir de elementos de refuerzo para lograr los objetivos de aprendizaje perseguidos por el profesor. Encierran notables peligros, sin embargo, dado su carácter extrínseco, pero permiten enfocar el trabajo de los alumnos por determinadas direcciones prioritarias, así como estimularles a la actividad intelectual. En algunos casos contribuyen a crear un alto grado de

ansiedad, lo cual disminuye el rendimiento y las motivaciones intrínsecas de algunos escolares, y esto conviene tenerlo muy en cuenta. De aquí la importancia de localizar nuevas funciones a los procesos de evaluación, como planteamos en el capítulo 10.º; dentro de estos nuevos papeles destaca la utilización de los exámenes como elementos de auto-conocimiento para los estudiantes, lo cual es muy interesante desde el punto de vista del refuerzo del aprendizaje. El énfasis en los aspectos fundamentales, las anotaciones y comentarios al pie o en las márgenes de las hojas de examen, las observaciones relativas a la evaluación, realizadas ante la clase, etc., son también importantes elementos de refuerzo.

6. El *nivel de desarrollo* de los alumnos debe ser tenido en cuenta en los procesos de enseñanza-aprendizaje. Como dice Freinet, los educadores se comportan a veces «como el adulto que anda a un paso apresurado y no se da cuenta de que el niño al que acompaña debe dar tres pasos mientras él da uno». Un problema didáctico de difícil solución con los métodos tradicionales dimana de la necesidad de dedicar atención adecuada a los distintos escolares de una clase, dadas sus diferencias individuales en interés, motivación, inteligencia, atención, etcétera. No se puede decir a priori que exista un método didáctico adecuado a todas las circunstancias, sino que las *características peculiares de los distintos alumnos harían necesaria la utilización de enfoques pedagógicos diferentes con los mismos*. Es importante familiarizarse con el alumnado y adaptar el proceso didáctico a sus características, pero las grandes diferencias existentes pueden llegar a hacer prohibitiva dicha adaptación siguiendo cauces tradicionales (clases magistrales y expositivas, explicación dirigida a un hipotético «alumno medio»...). En todo caso, conviene tener en cuenta algunas otras observaciones; así, si se plantea la enseñanza con un alto nivel de dificultad se corre el peligro de desmotivar a gran parte de los alumnos y, por otra parte, la existencia de una situación en la que se sabe de antemano que solamente unos pocos van a tener éxito ocasiona con frecuencia efectos altamente negativos. Se ocasionan notables pérdidas de confianza, en la enseñanza científica, si existen dificultades insalvables de

comprensión, así como en la resolución de problemas y ejercicios.

7. Las diferencias entre los alumnos son, lógicamente, más acusadas entre niveles de edad y niveles escolares distintos. El proceso de *desarrollo evolutivo*, que analizamos brevemente más adelante, debe ser tenido en cuenta, y se deberían adaptar los procedimientos didácticos al estado de maduración existente. No sería lo mismo, pongamos por caso, enseñar ciencias a un niño de la Primera Etapa de la educación básica que a un adolescente de la 2.^a Etapa o del Bachillerato. El planteamiento de la didáctica se debe hacer, por lo tanto, tomando en consideración las diferencias individuales dentro de un nivel escolar determinado, así como las diferencias dentro de la escala evolutiva del desarrollo personal.

8. No se puede pretender conseguir un determinado conjunto de objetivos de aprendizaje si no se adecuan los procedimientos didácticos de forma conveniente, si no se facilitan las necesarias condiciones de trabajo y experiencia. De acuerdo con los estudios de Deutsche, *los conceptos elaborados se hallan condicionados por las experiencias que se brinda a los escolares*. Freinet, en su lenguaje sencillo y preciso, nos recuerda esta realidad: «nadie puede comer por nosotros; nadie puede hacer por nosotros el experimento necesario que tiene como finalidad el andar a pie o en bicicleta». El pragmatismo de Dewey, así como las teorías conductistas, han enfatizado la necesidad de experiencias y de estímulos coherentes, así como la *participación activa del alumno en el proceso del aprendizaje*.

9. Una de las bases esenciales del éxito didáctico radica en saber *relacionar adecuadamente lo abstracto con lo concreto*, las generalizaciones y principios con la realidad circunstancial, con los hechos reales y con las experiencias de los alumnos (las «reglas» con los «ejemplos», en la terminología de la enseñanza programada). Aunque este principio es válido para todos los niveles educativos, cobra una importancia especial en el caso de los niveles básicos, dado el menor grado de conceptualización en dichas edades. En el capítulo 7.^o, al discutir la utilización del material didáctico de refuerzo y de complemento (medios audiovisuales, modelos y maquetas, material

de laboratorio), reincidiremos sobre este importante aspecto del proceso docente.

10. Para terminar este apartado, un par de principios fundamentales, no siempre llevados a la práctica desgraciadamente. Por una parte, es de importancia capital *relacionar* los conceptos y contenidos nuevos con conceptos y experiencias previas de los alumnos; es decir, *hacer referencia conveniente a lo aprendido con anterioridad*. Este enfoque, además de elevar el grado de motivación, supone un notable refuerzo del aprendizaje y de la interconexión entre conceptos, lo cual contribuye a desarrollar la capacidad discursiva del alumno. Por otra parte, *es fundamental hacer énfasis en los aspectos y contenidos básicos*, con objeto de que el escolar no pierda su orientación dentro del conjunto creciente de saberes con el que debe enfrentarse. En palabras de Freinet, con frecuencia «se hace tragar una masa de conocimientos que llenan unas cabezas obstruidas hasta la indigestión y la náusea» (7). En el capítulo 9.º se discute con detalle este último punto.

V.3. PIAGET Y LA PSICOLOGIA INFANTIL

De acuerdo con las ideas expresadas en el apartado 1.º de este capítulo, el desarrollo evolutivo es el resultado de la interacción de dos factores intervinientes: el *aprendizaje* (condición externa), y la *maduración* psicobiológica (condición interna). El aprendizaje puede tener lugar de dos formas fundamentales: de *forma directa* no organizada, mediante los contactos con el mundo físico circundante, los juegos manipulativos, etcétera, o bien a través de la *transmisión social* (en la escuela, aprendizaje de los compañeros y amigos, de los padres...). Cuando el niño llega a la edad escolar, aporta un rico bagaje de aprendizajes de ambos tipos, adquiridos de forma no sistemática, que conviene tener en cuenta.

La interacción Aprendizaje × Maduración en el desarrollo individual tiene lugar a partir de un proceso que Piaget (2) denomina de *equilibrio y autorregulación*. Este proceso hace relacionar el interior de la persona con su mundo exterior

físico y social mediante los fenómenos de acomodación y de asimilación. (Aunque somos bien conscientes de que la densidad de información es bastante elevada en este apartado, las necesidades del capítulo así lo exigen y el lector lo apreciará fácilmente.)

Se habla de *asimilación* cuando las vivencias, experiencias y aprendizajes son conceptualizados o insertados en el mundo mental del individuo, pero a través de un conjunto de filtros personales intervinientes. Estos filtros están integrados por el nivel de maduración intelectual y por los conocimientos y marcos conceptuales previos, es decir, por el grado de desarrollo de la persona. Se suele decir ocasionalmente, en lenguaje ordinario, que algunos alumnos encuentran notables dificultades para *asimilar* determinados conceptos nuevos: esto es así, o bien porque el nivel intelectual no es el adecuado, o porque los conocimientos previos necesarios no han sido a su vez suficientemente asimilados.

Se habla de *acomodación* cuando el individuo altera o adapta sus marcos o filtros mentales, con objeto de dar cabida en los mismos a nuevas experiencias y aprendizajes. De esta manera, el desarrollo comporta una interacción entre procesos de maduración y de aprendizaje, procesos de asimilación y de acomodación. Así, la maduración psicobiológica favorece la asimilación de nuevos conocimientos e, igualmente, el aprendizaje de determinados conceptos y las experiencias vivenciales del individuo fuerzan el desarrollo de situaciones de acomodación.

El desarrollo evolutivo, fruto de la conjunción de los procesos anteriormente reseñados, no tiene lugar de forma continua, sino que, de acuerdo con Piaget, se suceden diferentes *fases o etapas de equilibrio*, interrumpidas por situaciones de transición cualitativamente diferentes. La transición entre las diferentes fases supone una ruptura en el equilibrio asimilación-acomodación, y el advenimiento de nuevos períodos de equilibrio. Es interesante, en este contexto, reflexionar sobre las semejanzas existentes entre el modelo de Piaget y las ideas de Thomas Kuhn, expuestas en el capítulo 2.^o, en relación con las fases del desarrollo histórico de la Ciencia.

Las fases principales distinguidas por Piaget en sus estudios son las siguientes: la preoperacional, la fase de las operaciones concretas, y la de las operaciones abstractas.

En la *fase preoperacional*, que, en líneas generales, coincide con la etapa preescolar, el niño aprende a representarse el mundo exterior mediante *símbolos* establecidos por *generalización simple*, es decir, a partir de la observación de propiedades comunes entre objetos y circunstancias. El niño, a este nivel, separa con dificultad sus sentimientos y estados anímicos propios de los eventos naturales y sociales que tienen lugar en su entorno (este aspecto lo analizamos con más detalle en el siguiente apartado). La denominación de preoperacional se fundamenta en la imposibilidad de realizar operaciones concretas, tal como se especifica a continuación.

En la *fase de las operaciones concretas* el niño ha alcanzado ya la edad escolar (siete-ocho años de edad), y es capaz de realizar *operaciones mentales*, que implican la posibilidad de asimilar datos y observaciones del mundo real y de transformarlos y manipularlos mentalmente en la resolución de problemas. Las *operaciones* (de aquí que a la teoría de Piaget se la denomine operacional) son, por tanto, capacidades y procesos mentales de diferente índole:

1. La *transitividad*. Es decir, dos acciones mentales sucesivas pueden combinarse en una única acción.

2. La *reversibilidad* o capacidad de representarse mentalmente un proceso inverso al que haya tenido lugar, que devuelva los objetos y entidades manipuladas a sus estados primitivos. Se presentan algunos ejemplos más adelante.

3. La *asociatividad*: la misma situación puede alcanzarse por dos caminos diferentes.

4. La *identidad*. Es decir, cuando se repite una determinada acción no se añade nada nuevo al resultado obtenido por la primera acción, o bien se logra un efecto acumulativo.

En la fase preoperacional el pensamiento infantil es fundamentalmente intuitivo, basándose en las apariencias y percepciones sensibles. Así, no se han desarrollado todavía las capa-

tidades de *conservación*, que requieren del juego de las operaciones de transitividad, reversibilidad, asociación e identidad. Estas capacidades son de varios tipos: conservación de la longitud y del área, conservación de la cantidad (masa), conservación del peso y del volumen; estas tres últimas se alcanzan, respectivamente, en torno a las edades de siete, nueve y doce años. Cuando el niño «conserva la cantidad», es capaz de percibir que la cantidad de sustancia que constituye un cuerpo determinado no se altera al someterlo a modificaciones de forma: lo mismo cabe decir en relación con las conservaciones del peso y del volumen.

El lector puede realizar estudios en esta línea, con alumnos de diferentes edades, y comprobar personalmente las fases de desarrollo en que se encuentran. No nos vamos a extender en este aspecto, y convendría leer las obras originales de Piaget para extraer información adicional en relación con los métodos y procedimientos de investigación. Se pueden plantear dilemas sencillos a los alumnos, en forma de problemas y de preguntas, y a partir de ellos inferir el grado de desarrollo. Por ejemplo, es posible someter a transformaciones externas diferentes trozos de plastilina, y preguntar a los niños si hay más o menos plastilina que originalmente; de la misma manera, se puede alterar la forma del líquido contenido en una vasija, mediante su transvase a recipientes más anchos o más delgados, e indagar si el alumno percibe la conservación del volumen de dicho líquido. El niño preoperacional se imagina cambios más o menos acusados en la cantidad, el peso y el volumen, al basarse sus impresiones sobre la apariencia externa de la materia transformada (*pensamiento intuitivo*), y no sobre operaciones mentales de identidad, reversibilidad, etc. (*pensamiento operacional*). A través de la conjunción del aprendizaje y contacto con la realidad con la maduración biológica se llega a la fase operacional-concreta, en la que el niño adquiere un nuevo estado de equilibrio.

Hacia los doce-catorce años se alcanza un último nivel, denominado por Piaget *fase de las operaciones formales*, que coincide con el advenimiento de la pubertad y adolescencia y con el principio de las etapas educativas secundarias (en Espa-

ña, la 2.^a Etapa de la Educación Básica). Al comenzar los estudios medios (el bachillerato o la formación profesional), los alumnos han alcanzado ya un cierto grado de desarrollo dentro del ámbito de las operaciones formales, que facilita la introducción de enfoques didácticos más elevados. Ahora la actividad intelectual incluye la capacidad de realizar operaciones articuladas en torno a *proposiciones hipotéticas*, en vez de limitarse a las experiencias previas o las situaciones materializadas.

El adolescente es ya capaz de razonar en la línea hipotético-deductiva, obteniendo conclusiones mediante el formalismo de una cierta lógica, y apoyándose sobre ciertas premisas especulativas; puede llevar a cabo un pensamiento de tipo *formal* o intelectual (con formas o símbolos), sin requerir de visualizaciones o materializaciones. Como dice Piaget, preguntas del tipo «María es más rubia que Susana; María es más morena que Gloria. ¿Quién es la más morena de las tres?», raramente son resueltas antes de los doce años de edad; se requiere para ello disponer de una capacidad de razonamiento lógico (obtención de conclusiones a partir de premisas) más profundo que el implicado en las operaciones concretas. Esta disposición operacional de la mente permite, en la línea que seguimos más adelante, la introducción de procesos de razonamiento científico-matemático que no pueden abordarse antes de los doce o trece años de edad. En el Bachillerato, y Enseñanza Media en general, las posibilidades son aún mayores que en la educación básica, al incrementarse nuevamente la capacidad discursiva del alumno.

¿Qué consecuencias didácticas fundamentales podemos extraer de lo anteriormente expuesto, de validez para la enseñanza de las ciencias? Algunas de las mismas (que serán ampliadas en el último apartado de este capítulo) serían las siguientes:

- Conviene ayudar al escolar a *pasar progresivamente desde las etapas de pensamiento concreto hasta la utilización de modos de razonamiento intelectualmente superiores*. Pero «es inútil intentar esto mediante la introduc-

ción de explicaciones formales basadas en una lógica que esté distanciada del modo de pensar del alumno y que resulte estéril en sus implicaciones sobre él mismo» (9).

- Las enseñanzas deben hacerse en un *lenguaje* congruente con el nivel de desarrollo del escolar.
- El aprendizaje formal debe realizarse a partir de *experiencias y actividades concretas* (Cf. capítulo 7.º). Se pueden introducir los más variados conceptos científicos y matemáticos incluso a edades tempranas, siempre que «se separen de sus expresiones formales y matemáticas y se estudien a través de materiales que el niño mismo pueda manipular» (hipótesis de Bruner, Cf. referencia 9).
- Puede resultar altamente efectivo establecer una *comprensión intuitiva* de variados conceptos científicos antes de exponer a los escolares a métodos más tradicionales y formales (como son los de prueba y deducción). Como dice Bruner, «el formalismo del aprendizaje escolar ha dificultado en gran medida un desarrollo armónico de la intuición».

En resumidas cuentas, es importante tomar en consideración el nivel de desarrollo de los alumnos, y *adaptar nuestros métodos de enseñanza* al mismo. El jugoso pensamiento de Freinet reflejado en su parábola «si no os hacéis como niños, no entraréis en el mágico mundo de la pedagogía» (7) cobra mucho sentido en este contexto.

Con todo, las ideas de Piaget no han encontrado una decidida aceptación a todos los niveles, dado que su modelo de las etapas o de la evolución psicobiológicamente condicionada no ha englobado de forma precisa las influencias del medio ambiente educativo y social sobre el desarrollo del individuo. O al menos así ocurrió en sus primeros trabajos publicados. Desde un principio, Piaget ha intentado dilucidar cuáles son las interpretaciones y cuál es el pensamiento *propio* del niño, libre de condicionamientos e influencias educacionales. Es decir, ha intentado presentar un modelo más centrado en las fases de maduración que en las del desarrollo total del individuo.

Vygotsky (10) ha denunciado la falta de atención dispensada por Piaget a los procesos de aprendizaje, y ha propuesto un modelo diferente que él denomina *teoría del área de desarrollo potencial*. De acuerdo con este autor no conviene, como defienden algunos intérpretes de Piaget, orientar la enseñanza, hacia una etapa alcanzada previamente («ir a la zaga del desarrollo»), sino más bien *adelantarse a dicho desarrollo*; se apoya esta concepción de Vygotsky en la hipótesis de que «una correcta organización del aprendizaje del niño lleva al desarrollo mental, activa todo un grupo de procesos del desarrollo, y esta activación no podría producirse sin el aprendizaje».

El hecho de que las fases piagetianas se alcancen a distintas edades en países, culturas y estratos socioculturales diferentes indica que no tienen una raíz exclusiva en la maduración, sino también en el proceso de aprendizaje (entendido este último de una forma amplia, y no solamente el adquirido en ambientes escolares). De ahí la importancia de las ideas de Vygotsky y la conveniencia de promover rupturas en los estados de equilibrio que favorezcan el establecimiento de nuevos equilibrios intelectuales en fases cualitativamente más elevadas. En el último apartado aludiremos una vez más a este aspecto de vital interés para el educador y el profesor de materias científicas.

V.4. EL DESARROLLO DE INTERPRETACIONES CIENTÍFICAS EN EL NIÑO

Los niños, decíamos anteriormente, llegan a la edad escolar dotados de un conjunto de aprendizajes, y con un grado de desarrollo previamente adquirido, sobre los cuales se ha de articular la posterior educación institucionalizada. En particular, y con independencia de las enseñanzas de sus profesores, han recibido multitud de impresiones del mundo natural y tecnológico circundante y se han construido diferentes *interpretaciones propias* de los procesos y sucesos percibidos. Estas interpretaciones, sin embargo, están poco sistematiza-

das, y es gracias a la educación como el pensamiento llega a hacerse más disciplinado y objetivo.

El proceso educacional, como antes apuntamos, debe tomar en consideración el nivel de desarrollo de los escolares con objeto de promover enfoques que se adecuen al mismo. Esta adecuación o acomodación no significa necesariamente ir a la zaga, sino que, como muy bien ha planteado Vygotsky, es conveniente forzar el propio desarrollo evolutivo del niño mediante los adecuados aportes de aprendizaje. Con todo, y dado que el mismo alumno se ha construido un sistema de concepciones propias, a lo largo de varios años y a partir de experiencias naturales y sociales de diferente índole, convendrá edificar a partir de lo ya existente. En palabras de Knoll, «la enseñanza debe partir de las experiencias y conceptos que, muchas veces, se habrá formado el propio alumno. El maestro que pase por alto esas nociones infantiles, desarrolladas a lo largo de muchos años, se dificultará él mismo el camino hacia el éxito» (11).

Los trabajos de Piaget pueden resultar de inestimable valor en relación con este punto. Su método interrogatorio, perfeccionado y tamizado a lo largo de muchos años de investigación meticulosa, le ha permitido averiguar el grado de profundidad y de introspección de los niños en sus interpretaciones propias del mundo natural y tecnológico (12). A continuación apuntamos algunas sugerencias para el educador interesado en aplicar los métodos de Piaget y en obtener valiosa información de los mismos.

— Las preguntas que se planteen a los escolares para extraer información en torno a sus interpretaciones de los sucesos y fenómenos naturales deben hacerse en el *lenguaje propio del niño*. En este sentido, metodológicamente resulta de gran interés el conocimiento de la terminología infantil, así como de los significados que comportan las voces utilizadas en la comunicación verbal.

— En las edades más tempranas (cinco-ocho años de edad) conviene utilizar objetos materiales e instrumentos para reforzar e ilustrar las preguntas, dada la mayor dificultad existente

en este caso para establecer una comunicación puramente verbal en términos científicos.

— Es importante *no sugerir* respuestas a las preguntas planteadas; la forma de verbalizar dichas preguntas puede introducir fácilmente pistas o estímulos indeseables que falsearían las inferencias y los resultados.

— A veces es necesario pantear las preguntas en formas muy diversas, ahondando en diferentes aspectos, con objeto de dispersar y destruir las respuestas aprendidas, que ocultan el fondo de las verdaderas interpretaciones y concepciones del niño. Un escolar, por ejemplo, puede decirnos que la Tierra gira alrededor del Sol (lo cual, lógicamente, le ha sido enseñado) y no estar ni remotamente convencido de dicha aseveración: la acepta basándose en la autoridad moral del padre o del maestro, y no en evidencias, pruebas o reflexiones deductivo-inductivas.

— Las respuestas no tienen por qué ser necesariamente de forma verbal. Se le puede pedir al niño que *realice determinadas operaciones* (manuales o simbólicas), con cuyo procedimiento se mejora en gran medida el problema de la comunicación verbal.

Algunos tipos de preguntas para investigar las interpretaciones infantiles sobre el movimiento de las nubes, por poner un ejemplo, serían:

¿Por qué se mueven las nubes?

¿De dónde viene el viento? (caso de que aventuren como interpretación la acción del viento).

¿Cómo se forma el viento?

¿Saben las nubes que es el viento quien las empuja? (con esta pregunta, dirigida a niños pequeños, se pueden exponer las interpretaciones de tipo animista); etc.

Para obtener información sobre los fenómenos de flotación y de hundimiento y averiguar si el niño tiene un concepto claro de la relación existente entre la flotación y la densidad del cuerpo sumergido en un líquido, es conveniente utilizar vasijas con agua y diversos cuerpos, de densidad, textura y volumen variables. A partir de estos materiales, realizando los conve-

nientes experimentos y demostraciones, se plantearían preguntas para inferir si el niño asocia la flotación a factores irrelevantes (textura, forma...) y parcialmente relevantes (peso, volumen, configuración), o al verdadero factor (densidad relativa entre el sólido y el líquido).

El método interrogatorio sirve también para averiguar el *nivel de desarrollo*, en la línea apuntada en el anterior apartado; así, es posible realizar sondeos en torno a las operaciones mentales de reversibilidad, conservación, transitividad, etc. Las preguntas, también en este caso, conviene expresarlas en un lenguaje neutro o común al investigador y al niño; por ejemplo, si se desea constatar el grado de conservación de la longitud a través de manipulaciones y alteraciones de forma, puede realizarse la siguiente operación: Se toman dos fragmentos de estambre o trozos de cordel de la misma longitud, y se mantiene uno de ellos tenso, mientras que el otro se curva o se deforma; si se pregunta ¿cuál es el más largo *ahora*?, se corre el peligro de que el término «largo» sea entendido de forma diferente por los distintos niños. La pregunta se puede plantear más convenientemente: «si dos insectos (hormigas, etcétera) partieran a la vez de los extremos iniciales de ambos hilos, ¿cuál llegaría primero al otro extremo?». Experimentos similares pueden llevarse a cabo con palillos o tiras de papel de igual longitud, rompiendo uno de los dos fragmentos y situando las porciones en formas *visualmente* distintas. En las fases preoperacionales los niños consideran más largo el objeto que visualmente *perciben* como de mayor longitud (percepción intuitiva), aunque originalmente, antes de la partición o deformación, apreciaban la igualdad de los dos objetos.

En nuestra experiencia personal hemos podido constatar la existencia de niveles preoperacionales incluso en edades tan avanzadas como son los nueve o diez años. Esta observación debe motivarnos a reflexionar sobre la conveniencia de *conocer el verdadero nivel* de maduración de nuestros propios alumnos, sin atenerse de forma muy precisa a las estadísticas y trabajos previamente publicados. En relación con el desarrollo de interpretaciones de tipo científico en los niños, Piaget ha podido percibir la existencia de las siguientes fases:

1. Una *fase precausal*, en la cual los niños son incapaces de plantearse la existencia de causas mecánicas o materiales, en los procesos y fenómenos naturales.

2. Una *fase causal*, a lo largo de la cual comienzan a hacer acto de presencia interpretaciones de tipo mecanicista y lógico.

La separación entre ambas fases o etapas tiene lugar, aproximadamente, hacia los siete, ocho o nueve años de edad, dependiendo del nivel educativo alcanzado y del grado de desarrollo del escolar. En la primera fase, los tipos de interpretaciones más frecuentemente aventuradas por los niños se pueden recoger en las siguientes divisiones:

— *Causalidad motivacional* o psicológica. Este tipo de interpretación perdura a lo largo de muchos años en las culturas primitivas, o en los estratos socioculturales más bajos; de ahí que no convenga disociar totalmente el desarrollo del aprendizaje (influencias externas a la persona). Ejemplo: tenemos dolores de cabeza porque nos castiga la divinidad, o bien porque nos los envía otra persona.

— *Finalismo* simple, sin tomar en consideración los orígenes del mismo. El niño confunde la causalidad con la conclusión o la etapa final de un suceso. Así, el río fluye porque tiene que llegar al mar (finalidad); la lámpara luce porque tiene que dar luz, etc.

— *Causalidad fenoménica*. El niño aprecia la existencia de relaciones de causalidad entre dos hechos, objetos, sucesos, etcétera, contiguos en el espacio o el tiempo, aunque esta interrelación no tenga ninguna razón de ser. En este sentido, cualquier suceso puede producir cualquier otro fenómeno lógicamente relacionado por la mente infantil. Ejemplos: hace viento en la calle porque se ha oscurecido el día; una piedra pesa más que un globo porque tiene color más oscuro que este último, etcétera.

— *Participación*. Este esquema interpretativo desaparece casi siempre a los cinco o seis años de edad, de igual manera que los tres anteriormente citados. Consiste en lo siguiente: dos objetos entre los que existen relaciones de semejanza o de afinidad general se supone que tienen algo en común que les

permite actuar uno sobre el otro a distancia, o bien se consideran como fuente y receptor de emanaciones. Ejemplos: el aire o las sombras dentro de una habitación emanan del aire y las sombras del exterior; una balanza se inclina hacia un lado porque se mueven las nubes, etc.

— *Causalidad mágica*, estructura relacionada con las dos anteriores. Así, el niño piensa que sus gestos, pensamientos, movimientos (o los de otra persona) pueden ocasionar determinados sucesos. Por ejemplo: es posible deslizarse cuesta abajo con una bicicleta, porque así se desea; es posible provocar el movimiento de las nubes o la caída de la lluvia a voluntad, etc.

— *Causalidad moral*. El niño interpreta determinados hechos o fenómenos a partir de una necesidad de tipo moral. Ejemplos: las barcas «deben» flotar porque, en caso contrario, no serían barcas o serían objetos inútiles; la bombilla «tiene que» encenderse al accionar el interruptor, porque debe dar luz, etc. Es curioso constatar la similitud existente entre este tipo de interpretación y algunas de las ideas expresadas por Aristóteles (Cf. capítulo 8.^o).

— *Causalidad artificialista* (que adviene hacia los cincosiete años de edad). El hecho o suceso a interpretar se concibe como el fruto de la actividad creativa humana. Así, la Luna se mueve porque alguien la ha dotado de movimiento; se suceden los días y las noches, porque así lo ha dispuesto alguna persona (los padres, algún hermano mayor...).

— *Causalidad animista*, que interpreta el movimiento de algunos objetos y la naturaleza de determinados procesos a partir de raíces conductuales de tipo biológico (objetos dotados de voluntad o «de alma»). Así, las nubes, el Sol, la Luna, etc., se mueven porque «quieren moverse», las piedras caen porque desean llegar al suelo...

— *Causalidad dinámica*, que sobrevive al animismo, incluso cuando este último ha desaparecido de la mente infantil. Aunque el niño ya no admite ahora la existencia de una consciencia en los objetos inanimados (por ejemplo, dolor de las piedras cuando se las golpea), todavía persisten, desde su

punto de vista, fuerzas o impulsos interiores en los objetos que explican sus movimientos y cambios.

Hasta este momento (siete-nueve años de edad) el niño tiene dificultades para disociar su ego, su propia persona, del mundo que le rodea. De aquí que haga intervenir en los objetos inanimados sentimientos, fuerzas e impulsos, similares a los que él mismo experimenta. También establece relaciones entre sus pensamientos y actos y el comportamiento del Universo, en el caso de existir un causalismo de tipo mágico en su mente. Su pensamiento es, por tanto, fuertemente egocéntrico, y su conducta altamente egoísta. Poco a poco, sin embargo, y merced a la interacción de los procesos de maduración biológica y de las experiencias de aprendizaje, se va desplazando paulatinamente desde el yo subjetivo hacia el objeto externo (*objetivación* del pensamiento), superándose en gran medida el acentuado *subjetivismo* de las primeras etapas.

La importancia del aprendizaje y de las condiciones socio-culturales externas sobre el desarrollo y la evolución infantiles se pone de manifiesto al considerar el fuerte subjetivismo, así como el animismo, egocentrismo y causalismo mágico existentes en las culturas antiguas e infradesarrolladas. Vygotsky relata, en este sentido, sus experiencias con los campesinos rusos en los primeros años del siglo actual, los cuales, aunque podían comprender la magnitud de la distancia de ciertas estrellas a la Tierra, se cuestionaban extrañados cómo era posible conocer el nombre de las mismas. «¿Quién ha dicho a los habitantes de la Tierra cómo se llaman?», solían preguntarse.

El pensamiento científico y filosófico ha estado teñido, hasta tiempos muy recientes, de connotaciones de tipo antropomórfico y animista-mágico. Así, es conocida la oposición levantada a las ideas de Galileo y Copérnico, las cuales destruían en gran medida la antigua concepción homocéntrica y geocéntrica del mundo. Las experiencias de Piaget han evidenciado la evolución infantil hacia un pensamiento menos subjetivista, en el cual intervienen de forma creciente las interpretaciones de tipo físico y mecánico. Estas experiencias, no obstante, fueron realizadas con niños suizos de la clase media, y es lógico pensar,

como efectivamente se ha puesto de manifiesto en otras investigaciones, que persistan las explicaciones de tipo animista-biológico en sociedades y estructuras culturales diferentes. En cuanto a las clases de interpretaciones existentes a lo largo de la *fase causal* (a partir, aproximadamente, de los siete-ocho años de edad), cabe destacar las siguientes:

— *Reacción del medio circundante*. Se presenta aquí la primera interpretación infantil de cariz genuinamente físico; el motor y la causa de los procesos naturales no radica ya en la voluntad del objeto (animismo) ni de la persona (pensamiento mágico), sino en la interacción del objeto con su medio (acción interno-externa). En el pensamiento Aristotélico es posible localizar este tipo de explicación, por ejemplo, en el caso de la acción o empuje del aire sobre el proyectil que se mueve. Algunos otros ejemplos serían: la flotación de los barcos por la acción del agua que desplazan; el movimiento de las nubes impulsado por el aire que ellas mismas desprenden, etc.

— *Causalidad mecánica*: es una explicación por contacto y transferencia del movimiento. Ejemplos: el empuje de las nubes por el viento, la acción de los pedales sobre la bicicleta y del motor sobre el automóvil, etc. Ya no es necesario, como en el caso de la causalidad dinámica, imaginar la existencia de fuerzas interiores o impulsos propios del movimiento dentro de los mismos objetos, sino que este último se interpreta por la acción de causas o motores exteriores.

— *Causalidad por generación*, que interpreta el origen de las cosas (¿cómo se producen?, sería la cuestión relevante a este caso). La causalidad por generación puede coincidir en el tiempo con una fase tan adelantada como la correspondiente a la causalidad mecánica, siendo de hecho como una extensión de las ideas animistas, incluyendo el concepto de la transmutación de las sustancias. Ejemplos: el Sol se considera como una bola de fuego que se ha desprendido de una nube o bien del aire; la lluvia procede de las nubes (en una fase anterior se habría percibido la relación lluvia-nubes, sin delimitar con precisión cuál procede de cuál).

— *Identificación sustancial*, muy frecuente entre los ocho

y diez años de edad, de acuerdo con Piaget. En este nivel, los cuerpos procedentes de otros cesan de estar dotados de la capacidad de crecimiento propio, como ocurre con los seres vivos. Así, el Sol, en lugar de nacer de una nube y desarrollarse posteriormente, se forma por la unión o fusión de otros materiales.

— *Esquemas de condensación y enrarecimiento* (desde los nueve-diez años de edad). Estos esquemas completan el nivel anterior; el niño no se limita ya a afirmar el origen material de los cuerpos, sino que establece criterios relacionados con la mayor o menor compactibilidad de los materiales integrantes. Así, la dureza de las piedras deriva de la condensación o compactibilidad de la tierra o arena que las integra; el agua es ligera porque tiene una estructura líquida, etc. En las etapas anteriores, por contraste, los cuerpos se suponían más o menos pesados de acuerdo con otras cualidades interpretativas (el volumen, el color, la textura de la superficie...). Resulta curioso constatar la forma en que estos esquemas de condensación-enrarecimiento estaban integrados en el pensamiento filosófico presocrático.

— *Composición atomística*, que supone una percepción o introspección más acentuada que en el caso anterior. Ahora, la mayor o menor condensación es un atributo de las partículas o corpúsculos integrantes de los cuerpos macroscópicos. De esta forma, las piedras están constituidas por otras piedras más pequeñas, formadas a su vez por agregados de granos de tierra.

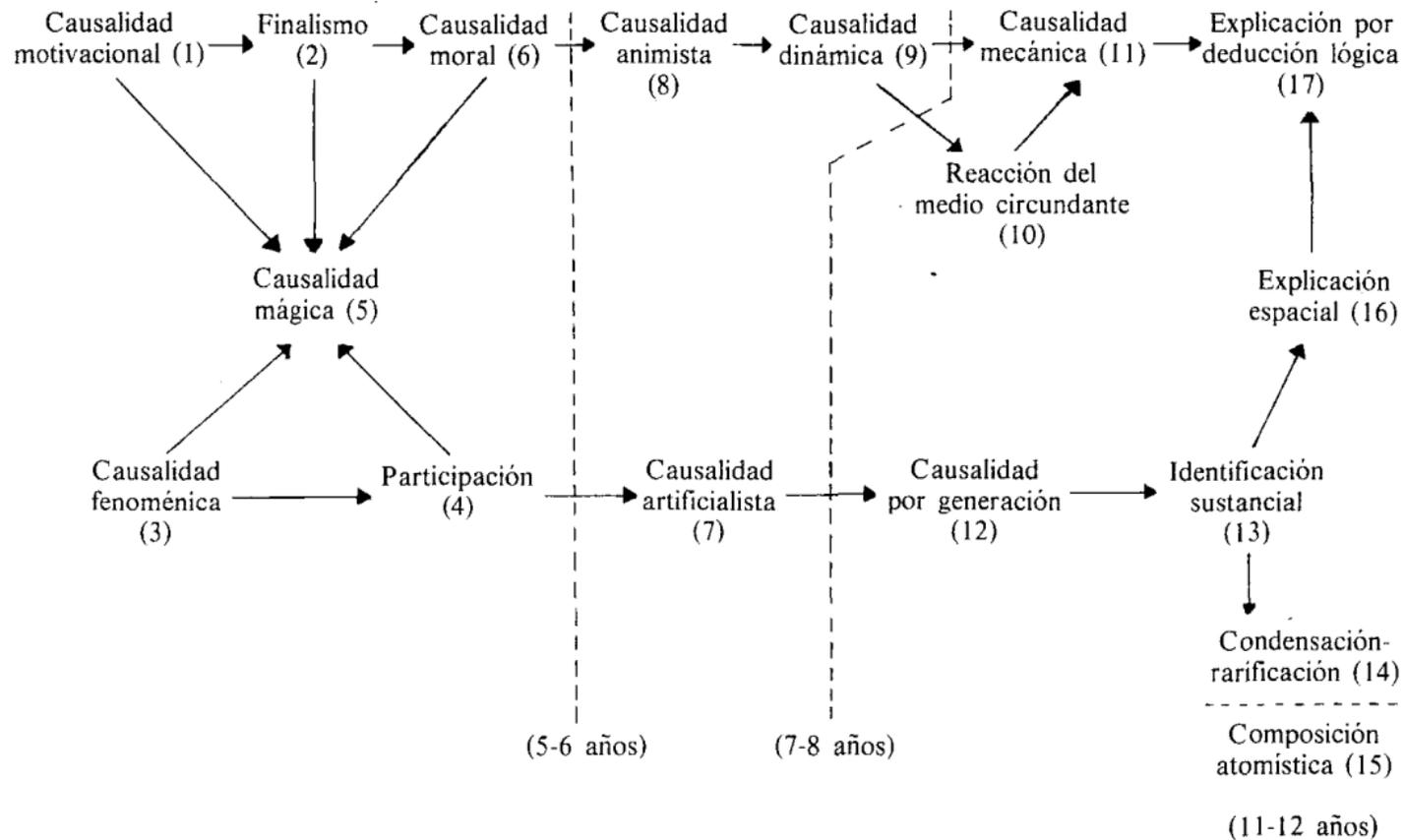
— *Explicación espacial*, que interviene en los procesos de tipo geométrico-volumétrico. Por ejemplo: en el cálculo del tamaño de las sombras proyectadas por cuerpos situados en diferentes posiciones enfrente de la fuente luminosa, en el cálculo del incremento de la altura alcanzada por un líquido, dependiendo del volumen de los cuerpos sumergidos en el mismo (y no del peso, como apuntaban los niños preoperacionales), etc.

— *Explicación por deducción lógica*, que se presenta fundamentalmente a partir de los diez-once años. El niño es capaz, a este nivel, de interpretar leyes y observaciones haciendo intervenir conceptos del tipo de la densidad, el peso, el volumen, el

área, etc. Así, el experimento de los vasos comunicantes es explicado sobre la base de una igualdad de probabilidades de movimiento del agua en ambas direcciones (principio de simetría), lo que comporta un equilibrio con igualdad de alturas en los dos recipientes en comunicación.

Los estudios de Piaget han sido replicados en numerosas ocasiones, y con niños pertenecientes a distintos estratos socioculturales. En algunos casos, como en el de Deutsche (13), no se ha localizado la misma variedad de ejemplos de animismo y egocentrismo que se ha apuntado anteriormente, abundando más las interpretaciones de tipo físico-mecanicista. Es probable que el crecimiento tecnológico contribuya a desterrar con prontitud las explicaciones de cariz biológico-antropomórfico. En todo caso, compete a los profesores localizar el nivel de desarrollo de los educandos, y detectar las vías por las que discurren sus interpretaciones personales de los procesos naturales y tecnológicos.

Las ideas anteriormente expuestas pueden sintetizarse en el Cuadro 1 (14).



Cuadro 1 (según Bridgman)

V.5. ALGUNAS SUGERENCIAS EN TORNO A LA DIDÁCTICA ELEMENTAL DE LAS CIENCIAS

De todo lo dicho hasta el momento, probablemente habrá quedado clara una idea fundamental para el proceso didáctico (15): si se ha de facilitar un aprendizaje fecundo y un desarrollo coherente y armónico de la mente infantil, es imprescindible mantener un *ajuste adecuado entre los enfoques pedagógicos y el nivel de maduración en que se encuentra el escolar*. Esta idea se expresa con facilidad, pero no siempre se puede llevar felizmente a la práctica, dadas las condiciones de trabajo existentes en ocasiones. A pesar de las limitaciones escolares, es posible, sin embargo, implementar una serie de enfoques discurrerentes por la línea antes trazada.

En primer lugar, y dado que conviene alcanzar un nivel de equilibrio adecuado entre maduración y aprendizaje en una etapa concreta antes de proceder a escalar las siguientes (16), al profesor compete averiguar si los conceptos previos han quedado *suficientemente asimilados* dentro de la estructura de desarrollo mental de sus alumnos. Se da el caso, y con más frecuencia de lo que sería tolerable, de introducir conceptos e interpretaciones que chocan con el conjunto de explicaciones científicas construidas por el propio escolar (Cf. el apartado anterior), lo que ocasiona un desfase muy perjudicial para conseguir un aprendizaje sano y coherente. No se logra, en estas condiciones, una verdadera asimilación, sino más bien un aprendizaje memorístico, basado en la autoridad moral del profesor y de los libros de texto.

Adaptarse al nivel de los alumnos no quiere decir, de acuerdo con Vygotsky, ir a la zaga del desarrollo, sino *favorecer constantemente este mismo desarrollo*. No se puede conseguir esta meta, sin embargo, sin una asimilación adecuada de conceptos previos y de operaciones mentales de tipo científico (razonamiento inductivo-deductivo, tal como se ha analizado en el capítulo 6.º). Para lograr esta asimilación es imprescindible, en la forma que expusimos en el apartado 3.º, introducir enfoques y procedimientos didácticos *congruentes con la lógica y el modo de razonar infantiles, con las estructuras natura-*

les de aprendizaje y con los intereses propios de la edad de los educandos.

Una reflexión básica en este sentido, que ya hemos hecho ver anteriormente, es que el pensamiento infantil evoluciona desde los planos intuitivos o preoperacionales, a los planos formales y operacionales. Aunque, en sus raíces, el aprendizaje se nutre de experiencias empíricas, interviene en el mismo la forma de pensar y de manipular mentalmente las experiencias e impresiones sensoriales. Existe, consiguientemente, un filtro mental que tamiza y da forma al conjunto de observaciones y vivencias derivadas del mundo natural y tecnológico que rodea al niño. Es tarea del profesor, en consecuencia, *ayudar al escolar en la comprensión y asimilación de experiencias* y fomentar de esta manera su evolución progresiva a etapas superiores de desarrollo.

Reproducimos seguidamente (ligeramente modificados) algunos fragmentos de uno de los trabajos realizados por Robert Karplus, una de las autoridades mundiales en el campo de la didáctica elemental de las ciencias, que ilustran un aspecto concreto de las ideas antes expresadas (17). Se centra este trabajo en el estudio de la caída libre de objetos bajo la acción de la gravedad:

«Con los niños de siete a doce años... resultaba poco práctico discutir detalles relativos a la velocidad y la aceleración. Por consiguiente, pensamos en utilizar pares de objetos de peso muy distinto y dejarlos caer simultáneamente desde el techo de un aula alta... Tal como esperábamos, la mayoría de los escolares predijeron que el más pesado de los dos objetos llegaría en primer lugar al suelo. Nos sorprendió bastante, sin embargo, la existencia de desacuerdos entre los niños acerca del resultado del experimento. Los que habían predicho que el objeto más pesado llegaría en primer lugar, *realmente afirmaban que así ocurría...* Describimos esta experiencia, porque ilustra un punto flaco muy extendido de las experiencias en clase: o bien los alumnos están convencidos del resultado «correcto»

desde el principio, o bien *aceptan la descripción del profesor sin hacer intervenir sus propios juicios...*

Teniendo en cuenta lo anterior, decidimos *reorganizar el experimento*. La cuestión inicial se iba a plantear ahora de la siguiente manera: dado el objeto pesado A, que se va a dejar caer desde una cierta altura h_A sobre el suelo, ¿a qué altura h_B se debe dejar caer simultáneamente el objeto B si queremos que llegue al suelo al mismo tiempo que el A? La respuesta «correcta» es, por supuesto, $h_B = h_A$... En algunos casos descubrimos que los niños proponían $h_B = 2/3 h_A$. Cuando se lleva a cabo el experimento, se reconoce con facilidad la llegada de B anterior a la de A. Esta observación conduce al ajuste ulterior $h_B = 5/6 h_A$ y a otros ajustes, desembocando finalmente en el resultado $h_B = h_A$. La ventaja perceptual del experimento reorganizado es clara: una diferencia o igualdad de alturas se reconoce con más facilidad que una simultaneidad de impactos en el suelo. También hay una ventaja de orden psicológico: el experimento sugiere una línea de pensamiento a través de la cual el alumno puede *progresar desde su concepción errónea inicial a la comprensión final*. (Los subrayados son nuestros).

La lección a extraer de este ejemplo es clara: radica en la importancia de introducir experiencias y observaciones que tomen en cuenta la forma de pensar y la percepción infantiles, con objeto de facilitar la asimilación de conceptos y de procesos sobre una *base empírica* y convincente para el alumno. En el caso expuesto por Karplus se hizo necesario acomodar el experimento de clase a esta realidad, y de esta manera posibilitar una percepción adecuada del proceso.

En el apartado 3 aludimos a la conveniencia de ayudar al escolar a pasar progresivamente desde el pensamiento concreto hacia la utilización de modos de pensamiento abstractos y formales. Dado que el pensamiento concreto, y en gran medida también el pensamiento formal, se sustenta sobre experiencias

sensoriales adecuadas, conviene *centrar la enseñanza de las ciencias sobre un adecuado aporte y una discusión formal de experimentos y manipulaciones con objetos e instrumentos*. Nada más alejado de las necesidades procesales de aprendizaje científico que un enfoque dogmático, apriorístico y excesivamente simbólico. Las experiencias concretas y sensoriales, ilustrativas de conceptos abstractos, son insoslayables en los niveles elementales. No olvidemos, como se ha expresado en el capítulo anterior, que el razonamiento científico se diferencia del matemático por su constante relación con el mundo físico y biológico. De ahí la conveniencia de las ideas aquí expresadas.

A partir del contacto y las vivencias sensoriales, se debe ayudar a los alumnos a construir interpretaciones coherentes, de acuerdo con su nivel de simbolización y los conceptos previamente asimilados. Consideramos, por tanto, de gran interés la utilización de *enfoques empíricos e inductivos* en los niveles elementales de la enseñanza científica, y a partir de los mismos edificar y construir nuevos conceptos; en la enseñanza en los niveles superiores (en España, el Bachillerato y la Formación Profesional), sin embargo, juegan un papel de relevancia los procedimientos deductivos, tal como discutimos en otro lugar (Cf. capítulo 6.º). En la bibliografía incluida al final de este mismo capítulo, así como en la reseñada en el capítulo 13.º, es posible hallar diferentes libros de interés para la didáctica científica elemental. En dichos libros se encuentran sugerencias y consejos de variada índole para la puesta en marcha de las ideas antes apuntadas. La naturaleza de este libro no se adecua, por sus características, a la presentación de ejemplos variados y diversos como hubiera sido deseable, y de ahí la necesidad de ampliar contenidos en otras fuentes bibliográficas.

Es importante también referirnos en este apartado a un aspecto didáctico de gran trascendencia: los conceptos nuevos deben ser relacionados con los anteriores y con el conjunto de vivencias y experiencias previas de los niños. En este nivel, lo mismo que en los niveles superiores, interesa *relacionar el material que se enseña con el mundo natural y tecnológico en*

que se encuentra inserto el alumno. Es de la mayor trascendencia desarrollar el proceso didáctico a partir de dichas vivencias, mediante la articulación de *preguntas y cuestiones* adecuadas, que susciten la participación y el razonamiento discursivo. En los capítulos 6.º y 7.º se incluyen algunos enfoques inductivo-deductivos, y aplazamos hasta entonces el estudio más detallado de este aspecto.

Importa reseñar aquí que los experimentos y manipulaciones no tienen sentido por sí mismos, sino en relación con la asimilación de determinados conceptos y el desarrollo de la capacidad discursiva del alumno. Esta capacidad también se puede desarrollar mediante la discusión de temas de interés, como se pone de manifiesto en los fragmentos que reproducimos a continuación, ligeramente modificados (18). Se refieren estos fragmentos a la posibilidad de existencia de personajes gigantes, tal como se presentan en numerosas lecturas y narraciones. Comienza el profesor, al concluir una lectura introductoria y motivadora previa, planteando una *pregunta de tipo polémico*:

- «¿Creéis realmente que puedan existir gigantes del tamaño que se ha relatado en la lectura?»
- «¿Por qué no?», replicaron algunos alumnos.
- «Porque surgen complicaciones con el aumento del tamaño», argumentó el profesor.

A continuación diferentes escolares se refirieron a la existencia de animales de tamaño desusado (elefantes, dinosaurios...). Interviene en este momento el profesor de nuevo:

- «¿Por qué no pueden existir gigantes como se ven en las películas?» Para contestar a esta cuestión, vamos a realizar una serie de tareas en grupo. Supongamos que existiese un hombre de altura diez veces superior a la de un hombre normal. ¿Qué tipo de problemas se presentarían entonces?»

Diferentes alumnos sugieren entonces los problemas de alimentación, respiración, daños corporales en las caídas desde una cierta altura (lo cual no sucede con los insectos), etc. En

grupos, realizan comparaciones entre los procesos orgánicos correspondientes a los animales de tamaño grande y los animales pequeños. Así, la proporción de alimentos ingeridos es menor en los elefantes que en los ratones (en relación con el volumen corporal); los seres superiores disponen de grandes pulmones, mientras que los insectos ni siquiera los necesitan. La relación básica, que deberían *descubrir* los escolares, es la de superficie a volumen: superficie de la piel y peso del animal, superficie intestinal y alimentación, sección transversal de los huesos y peso, etc.

Dejando aparte el valor didáctico de este tipo de actividad, por las relaciones que comporta entre los aprendizajes de la física, la biología y las matemáticas, tiene un interés especial por ilustrar un procedimiento de tipo *deductivo-inductivo*. Los niños han experimentado previamente multitud de procesos de orden biológico, en el caso que nos incumbe, o bien pueden consultar los datos que necesiten en fuentes bibliográficas adicionales. Se trata, a continuación, de *extraer conclusiones* de dichas observaciones y datos, y de *construir hipótesis* interpretativas lógicas y coherentes. Está claro que no todos los contenidos pueden introducirse de esta manera, pero es fundamental que, al menos parcialmente, se incluyan enfoques didácticos inductivos y discursivos. Se suele denominar a estos enfoques en la literatura pedagógica especializada como «*aprendizaje por el descubrimiento*», y encierran los mismos unos valores formativos por nadie puestos en duda. En varias de las obras que recogemos en las referencias bibliográficas se detallan con más precisión estos tipos de enfoques didácticos.

En el capítulo 2.º aludimos, como se recordará, a la importancia de transmitir una idea lo más exacta y correcta posible de la naturaleza y componentes de la ciencia. ¿Es posible llevar a cabo esta sugerencia, incluso en los niveles más básicos y elementales? Está claro que si se utilizan procedimientos fundamentalmente deductivos y simbólicos nos alejaremos en demasía del tipo de razonamiento y aprendizaje infantiles (intuitivo y concreto-operacional), y no habremos logrado en modo alguno nuestro propósito. Interesa, por tanto, ajustarse más a la mentalidad de los escolares y, en los niveles básicos,

hacer uso de *modelos, ilustraciones y visualizaciones* abundantes (Cf. el capítulo 7.º). También es de la máxima relevancia incluir *experiencias sencillas y adecuadas* para facilitar la asimilación y la comprensión. En la actualidad, y siguiendo esta línea, la mayoría de los libros y del material didáctico de calidad para la enseñanza científica en la Educación Básica hacen uso abundante de este principio pedagógico.

Un ejemplo puede ilustrar perfectamente las ideas anteriores (19). Como expresamos en el capítulo 2.º, los procedimientos inductivos se dirigen a la construcción de modelos e interpretaciones de validez general, basándose en observaciones y experimentos en número restringido. El científico no puede observar directamente la mayoría de los aspectos microscópicos del sistema bajo estudio, sino que infiere propiedades de dicho sistema a partir de un conjunto de entes observables. Así, no es posible apreciar de forma directa la ordenación cuantificada de los electrones en los átomos (el experimento de Stern Gerlach supone la máxima aproximación), ni la existencia de caracteres hereditarios en los cromosomas. Es a partir de *observaciones indirectas* (rayas de emisión y absorción espectrales, por ejemplo) como se infiere la existencia de entidades explicativas hipotéticas. ¿Es posible que los niños lleguen a asimilar las anteriores características del quehacer científico? Si hacemos uso de la terminología que acabamos de utilizar, difícilmente, puesto que debe acompañarse la misma de un nivel de conocimientos y de abstracción muy superior al existente normalmente en los ciclos básicos. Utilizando *modelos físicos y metáforas*, sin embargo, se simplifica el problema, puesto que entonces estaremos más próximos de las estructuras mentales de tipo operacional-concreto.

Se puede presentar a la clase una caja cerrada (la típica «caja negra» de los sistemas científicos), en la que se hayan introducido bolas, figuras, etc., de distinto tamaño, peso y consistencia. El problema de los niños consistirá en *inferir o inducir* el tipo de objetos materiales encerrados en la caja, sin poder observarlos directamente. Para lograr este propósito, será necesario realizar *experimentos* adecuados (mover la caja bruscamente, inclinarla, invertirla, etc.), de tal manera que se

facilite la obtención de conclusiones pertinentes. El juego aquí ilustrado nos ofrece un ejemplo de símil o metáfora para que el alumno perciba el significado de los procedimientos inductivos en la ciencia. Este ejemplo, muy simple aunque válido, refleja la conveniencia de utilizar enfoques *de acuerdo con el lenguaje y la forma de pensar infantiles*, pero que faciliten la asimilación de conceptos superiores y el desarrollo de la comprensión.

Anteriormente aludimos asimismo a la conveniencia de tomar en consideración no solamente el nivel intelectual de los escolares, sino también el conjunto de *intereses científicos*, variable con la edad, el sexo, la inserción sociocultural, etc. Sobre el desarrollo de estos intereses pesa fundamentalmente el entorno cultural del niño, así como los sistemas escolares, que pueden jugar un papel insoslayable en la vía de desarrollar una amplia gama de intereses intelectuales. La inmersión en sociedades tecnológicas favorece el contacto con objetos técnicos y suscita con frecuencia el deseo e interés por conocer sus mecanismos funcionales (Cf. el capítulo 3.º). Los juegos, de tipo mecánico-estructural en el caso de los niños, así como las expectativas profesionales, favorecen un mayor interés de éstos por la física, mientras que las niñas de gran parte de los países avanzados se sienten más inclinadas por el estudio de la biología y de las ciencias naturales.

Knoll (11) ha analizado con acierto la evolución de los intereses técnicos con la edad. Aunque sus estudios se centran en una sociedad (la alemana) y en una época concretas, las reflexiones que plantea pueden resultar de interés más general. Distingue este autor el escalonamiento de tres niveles claramente diferenciados:

— En la primera fase escolar (cinco-diez años), los niños utilizan los objetos técnicos primeramente con la intención de jugar (interés lúdico), pero se inician ya los rudimentos de un pensamiento referido a las causas y los efectos, así como a las relaciones. El maestro —dice Knoll— tiene que aprovechar los intereses de los niños, tanto a este nivel como en las etapas siguientes, a efectos de *motivar* su enseñanza, en virtud de la

importancia que determinados temas pueden tener para el alumno.

— En una segunda fase (diez-doce años), el interés del niño no se centra ya en la aplicación de los objetos, sea cual fuere ésta, sino en las *relaciones existentes entre sus partes*. En este interés más especializado se manifiesta su necesidad de descubrir leyes generales y de comprender las causas de las interacciones.

— Entre los trece-quince años, finalmente, el interés se orienta más hacia los *nexos físicos y las reflexiones teóricas* (pensamiento lógico-abstracto), tal y como se ha reflejado en otros lugares de este capítulo.

Al profesor de ciencias compete descubrir el nivel de interés de sus alumnos, de igual manera que su nivel de razonamiento y abstracción, con objeto de adecuar el proceso didáctico a los mismos y aumentar notablemente la eficacia de su acción.

V.6. RESUMEN DEL CAPITULO

Se comienza estudiando las interrelaciones existentes entre las secuencias de maduración, aprendizaje y desarrollo intelectual del individuo. Vistas estas interrelaciones, se apuntan algunas sugerencias didácticas de ámbito general, de tal manera que se favorezca el aprendizaje y se tome en cuenta la influencia del campo afectivo (desarrollo del interés y motivaciones) sobre el proceso de formación.

Gran parte del capítulo se centra sobre los trabajos de Piaget relativos al desarrollo evolutivo del niño, en especial sobre el desarrollo de interpretaciones científicas propias. Se enfatiza la conveniencia de conocer los niveles intelectual y motivacional de los propios alumnos, con objeto de adaptar el proceso de enseñanza-aprendizaje a los mismos, y de desterrar las posibles contradicciones e inconsistencias.

Se llama la atención del lector especialmente sobre la teoría de Vygotsky del «desarrollo potencial», en la cual juega un papel esencial el aprendizaje escolar como motor del propio

desarrollo. En esta línea, conviene utilizar enfoques y lenguajes didácticos congruentes con la mentalidad y el modo de razonar infantiles, de tal manera que se estimule el aprendizaje y se favorezca la asimilación armónica de conceptos nuevos. Se abre así el camino, de forma eficaz, a las etapas posteriores de la formación del alumno.

No se ha hecho excesivo énfasis en los procedimientos didácticos inductivo-deductivos, dado que se aborda el estudio de los mismos en otro lugar del libro.

CUESTIONES DE APLICACION Y AUTOEVALUACION

1. Discútanse las siguientes afirmaciones:

- Si se quiere eliminar un comportamiento negativo, lo mejor es castigarlo. De esta manera se creará en el niño un cierto rechazo al mismo.
- En la enseñanza de las ciencias, es conveniente ajustarse de forma total al nivel intelectual de los alumnos, así como a sus niveles motivacional y afectivo.
- Dado que algunas ramas de la ciencia (la física y la química, por ejemplo) encierran un elevado contenido, conceptual y de abstracción, no sería conveniente enseñarlas hasta que los alumnos hayan alcanzado los niveles educativos superiores (el Bachillerato, por ejemplo).
- Las ciencias son difíciles y complejas, y de ahí que resulte casi imposible motivar suficientemente al alumno para su estudio. A pesar de ello, debe introducirse la enseñanza formalista y formalizada de las mismas en los ciclos elementales, con objeto de desarrollar la capacidad de simbolización en el niño.

2. Herbert Spencer ha dicho (1860): «Se debería procurar que los niños realizasen sus propias investigaciones y extrayesen sus propias conclusiones. Se les debería decir lo menos posible, e inducirlos a descubrir tanto como fuese posible.» Comente y matice convenientemente las palabras anteriores.

¿Están de acuerdo con las líneas básicas puestas de manifiesto por la psicología del desarrollo? ¿Hasta qué punto sería posible lograr un aprendizaje adecuado de los conceptos científicos básicos mediante un enfoque esencialmente heurístico?

En el capítulo 2.º se ha reflexionado sobre el carácter inductivo-deductivo de la actividad científica. ¿Refleja el enfoque de Spencer esta dualidad o bipolaridad? En el capítulo 6.º se analiza con más detalle este problema, y a él remitimos al lector.

3. Realice algún estudio en la línea seguida por Piaget. Intente describir el nivel de desarrollo intelectual, en el plano científico, de sus alumnos. Por ejemplo, diseñe un cuestionario que le permita inferir sus esquemas de interpretación de diferentes procesos y fenómenos en la naturaleza: los movimientos estelares, los procesos de orden biológico, los principios de conservación de magnitudes físicas, etc. O bien, en el área tecnológica: causas motrices de dispositivos mecánicos, problemas de transmisión y transformación energéticas, etc.

4. Planifique algunos ejercicios didácticos, en relación con la adaptación de conceptos abstractos a edades tempranas. Diseñe, en esta línea, algunos enfoques inductivos y deductivos adecuados a los niveles operacional-concretos (niños menores de doce-trece años). Una sugerencia: seleccione algún concepto científico de trascendencia en el currículum de la Educación Básica, y localice manifestaciones y ejemplos del mismo en el mundo natural y técnico. En el capítulo 12.º se reseñan algunos proyectos extranjeros de enseñanza científica, que pueden resultar de interés como fuentes de material didáctico a diferentes niveles.

5. Amplíe las ideas de Piaget apuntadas en este capítulo, mediante la lectura crítica de algunos de sus trabajos más relevantes. Reúna varios de los libros de texto y de lectura, existentes en el mercado, para la enseñanza de las ciencias, y localice sus posibles deficiencias didácticas en relación con los esquemas de desarrollo-maduración propuestos por Piaget.

6. (Esta cuestión, así como la siguiente, la debe el autor a R. G. Bridgham, de la Universidad de Stanford.)

Critique la siguiente afirmación (haciendo uso de las ideas expresadas en este capítulo, así como en el capítulo 2.^o):

«No se puede trazar una línea definitoria que distinga al científico profesional de nosotros mismos, o de un niño de edad escolar. Cada uno de nosotros intenta dar sentido al mundo que nos rodea, y nos dejamos guiar en este empeño por un conjunto de modelos intuitivos, llámense éstos «ideales del orden natural», metáforas, esquemas interpretativos, etc. Todos nosotros tenemos modos habituales de elaborar descripciones de los aspectos significativos de los hechos que observamos, e intentamos hacer corresponder nuestras descripciones de lo que observamos con lo que nuestros modelos mentales nos sugieren debería suceder. Existen diferencias, por supuesto, en la profundidad y efectividad de los modelos usados, pero estas diferencias parecen estar relacionadas con una creciente consciencia de las limitaciones existentes. De hecho, parece como si se incrementase la capacidad científica del niño al ritmo que crece su consciencia de las propias limitaciones como observador, manipulador de datos y comprobador de ideas, y en la medida en que es capaz de hallar técnicas que minimicen los efectos de estas limitaciones.»

7. Cuando investigamos la capacidad del niño para predecir o interpretar el hundimiento y la flotación de diferentes objetos, observamos que no se presentan soluciones válidas y completas mucho antes del comienzo de la educación secundaria (en España, la 2.^a Etapa de la Educación Básica), incluso precediendo las preguntas y cuestiones de explicaciones adecuadas. Los niños más pequeños, sin embargo, pueden realizar predicciones razonablemente exactas haciendo uso de generalizaciones del tipo: «la madera flota», «los metales no flotan», etcétera. Comente este desarrollo desde el punto de vista de las teorías piagetianas, explicando por qué solamente los niños de doce-trece años y mayores son capaces de ofrecer soluciones de validez general. Explique por qué los niños de siete-once años pueden realizar predicciones de tipo parcial («la madera flota», por ejemplo).

REFERENCIAS

- (1) BUTCHER, H. J. *Human Intelligence: Its Nature and Assessment*, Harper Torchbooks, Harper and Row, Nueva York, 1973 (Ed. original: Methuen, Londres, 1968).
- (2) PIAGET, Jean. *Psicología de la inteligencia*, Ed. Psique, Buenos Aires, 1970 (Ed. original, en 1947).
- (3) GAGNE, Robert M. *The Conditions of Learning*, 2.^a Ed., Holt, Rinehart and Winston, Nueva York, 1970, pp. 3-18. Existe traducción de la primera edición, de 1965: *Las condiciones del aprendizaje*, Aguilar, Madrid, 1971.
- (4) BEARD, Ruth. *Pedagogía y didáctica de la enseñanza universitaria*, Ed. Oikos-tau, Barcelona, 1974, pp. 79-110. (Ed. original: *Teaching and Learning in Higher Education*, Penguin Books, 1974)
- (5) Cf., como exponentes de la psicología del «campo», las obras: *Principles of Topological Psychology*, de K. Lewin (publicada por vez primera en 1936, por Mac Graw Hill), y *Purposive Behavior in Animals and Men*, de E. C. Tolman (Nueva York, 1932).
- (6) DEWEY, John. *Experience and Education*, Collier Books, 1963, pp. 33-50. (Ed. original de 1938). Existe traducción al castellano: *Experiencia y Educación*, Ed. Losada, Buenos Aires.
- (7) FREINET, Célestin. *Parábolas para una pedagogía popular*, Ed. Estela, Barcelona, 1970. (Ed. original: *Les Dits de Mathieu*, Delachaux et Niestlé, 1967.)
- (8) Las ideas de Piaget se han recogido en multitud de obras y artículos. Se ha criticado a este autor la excesiva reiteración y repetición de sus concepciones básicas en los diferentes trabajos publicados. Algunos libros, de posible interés para el lector, son los siguientes: *Psicología y Epistemología*, Emecé, Buenos Aires, 1972; *La formación del símbolo*, F. C. E., Méjico, 1966; *Génesis de las estructuras lógico-elementales*, Ed. Guadalupe, Buenos Aires, 1973, y *La psicología del niño*, Madrid, Ed. Morata, 1972 (en colaboración con B. Inhelder este último).
- (9) BRUNER, Jerome S. *El proceso de la educación*, UTEHA, Méjico, 1972. (Ed. original: *The Process of Education*, Harvard University Press, 1960, republicado por Vintage Books, 1963, pp. 33-68.)
- (10) VYGOTSKY, L. S. «Aprendizaje y desarrollo intelectual en la edad escolar», en LURIA, A. R.; LEONTIEV, A. N., et al.: *Psicología y Pedagogía*, Akal Editor, Madrid, 1973, pp. 23-39. (Ed. original en Moscú, 1956.)
- (11) KNOLL, Karl. *Didáctica de la enseñanza de la Física*, Kapelusz, Buenos Aires, 1974, pp. 87-125.
- (12) El método interrogatorio de Piaget se recoge en su libro *La representación del mundo en el niño*, Ed. Morata, Madrid, 1973. (Ed. original en Presses Universitaires de France, 1926.) En la obra *La concepción de la*

causalidad física en el niño (The Child's Conception of Physical Causality, Littlefield, Adams and Co., Nueva York, 1972) se presentan interesantes afirmaciones en relación con la génesis y el desarrollo de las interpretaciones científicas en diferentes edades.

(13) DEUTSCHE, J. M. *The Development of Children's Concepts of Causal Relations*, Instituto de la Universidad de Minnesota para el Estudio del Bienestar Infantil, University of Minnesota, 1937.

(14) Comunicación personal de R. G. Bridgham, de la School of Education de la Universidad de Stanford (California).

(15) HUNT, J. Mc V. «The Impact and Limitations of the Giant of Developmental Psychology», en D. Elkin and J. H. Flavell (eds.): *Studies in Cognitive Development*, Oxford University Press, 1969, pp. 3-66.

(16) BASS, J. E.; MONTAGUE, E. J. «Piaget-Based Sequences of Instruction in Science», en *Science Education*, 56 (4), pp. 503-512, 1972.

(17) CUNNINGHAM, J.; KARPLUS, R. «Free Fall Demonstration Experiment», en *American Journal of Physics*, Vol. 30, Núm. 9, Sept. 1962.

(18) GOLDBERG, Lazer. *Children and Science*, Charles Scribner's Sons, Nueva York, 1970, pp. 88-90.

(19) Ejemplo propuesto por el Prof. Ogborn, del Centre for Science Education, Chelsea College, Londres.

BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTARIA

Los puntos iniciados en este capítulo pueden ampliarse en la bibliografía que reseñamos a continuación. Algunos otros puntos de interés (como son: las relaciones del aprendizaje científico con el matemático; la utilización de gráficos, esquemas, medios audiovisuales, modelos representativos; la articulación de los enfoques inductivos y deductivos, etc.) son analizados en otros capítulos.

- FLAVELL, J. A. *La psicología educativa de Jean Piaget*, Paidós, Buenos Aires, 4.^a edición, 1974. (Ed. inglesa, por Van Nostrand, Princeton, 1963.) Obra imprescindible por su integridad e interés, para iniciar de forma organizada el estudio de las ideas de Piaget.
- FURTH, H. G. *Las ideas de Piaget: su aplicación en el aula*, Kapelusz, Buenos Aires, 1971.
- HOLT, John. *Cómo aprenden los niños pequeños y los escolares*, Paidós, Buenos Aires, 1974. (Ed. original, por Dell Pub. Co., 1970.) Obra que ha alcanzado el «status» de «best-seller» en los Estados Unidos, por su interés y estilo realista y atrayente.
- CARIN, A. A.; SUND, R. B. *La enseñanza de las ciencias por el descubrimiento*, Méjico, UTEHA, 1967. (Existe una edición más reciente, por Charles E. Merrill, 1970.) Interesante tratado sobre la enseñanza elemental de las ciencias.
- FREINET, C. *La enseñanza de las ciencias*, Ed. Laia, Barcelona, 1973. (Ed. original, en 1962.)

- FRESQUET, A. E. *La enseñanza de las ciencias en la escuela intermedia*, Ed. Ciencel, Buenos Aires, 1971.
- KUSLAN, L.; STONE, A. H. *Readings on Teaching Children Science*, Wadsworth Pub. Co., Belmont, California, 1969. Se incluyen aquí treinta y nueve artículos escogidos, publicados con anterioridad en revistas especializadas, todos ellos relacionados con la didáctica de las ciencias en los niveles básico-elementales.
- LOVELL, K. *Didáctica de las matemáticas: sus bases psicológicas*, Ed. Morata, Madrid, 1969 (traducción de la 5.^a edición inglesa por la University of London Press, en 1966: *The Growth of Basic Mathematical and Scientific Concepts in Children*). Obra clásica y fundamental para todo profesor del área de Ciencias y de Matemáticas en la Educación Básica. Se centra el libro en las ideas más importantes destacadas por Piaget y por otros autores.
- ORMERON, M.; DUCKWORTH, D. *Pupils Attitudes to Science*, N. F. E. R., Inglaterra, 1975.
- RUSSELL, M. *Didáctica de las ciencias aplicada a la escuela elemental*, Ed. Trillas, Méjico, 1970.
- STENDLER, C. B. «Piaget's Developmental Theory of Learning, and its Implications for Instruction in Science», en VICTOR, E.; LERNER, M. (eds.): *Readings in Science Education for the Elementary School*, Mac Millan, 1971, pp. 379-391.

VI. METODOLOGIA INDUCTIVO-DEDUCTIVA

VI.1. LA CIENCIA Y SUS ESTRUCTURAS

En diferentes lugares del libro aludimos a la conveniencia de desarrollar enfoques didácticos que sean congruentes con las características de las asignaturas científicas (de ahí que se hable de «Didáctica de la Física», «Didáctica de la Biología», etc.). Por otra parte, existen aspectos generales de la Didáctica y de la Psicología del Aprendizaje, algunos de los cuales reflejamos en el capítulo 5.º, que tienen validez en la enseñanza de cualquier área educativa. Dado que, a partir de los análisis realizados en diferentes capítulos, es posible extraer gran variedad de consecuencias metodológicas, nos limitaremos aquí a presentar algunos aspectos específicos y concretos, de interés para el profesorado de ciencias.

A la hora de abordar seriamente la problemática de la enseñanza científica, conviene plantear con precisión cuáles son las características de la ciencia que la diferencian de otras actividades intelectuales. Ya iniciamos este análisis en el capítulo 2.º, y las ideas entonces expresadas son de gran interés en este momento. Resumiendo las mismas, podemos afirmar que el edificio científico se refleja en dos estructuras diferentes, aunque con gran variedad de puntos de contacto. A estas dos estructuras se las suele denominar (1) como *Estructura Lógica* y *Estructura Epistemológica* de la ciencia.

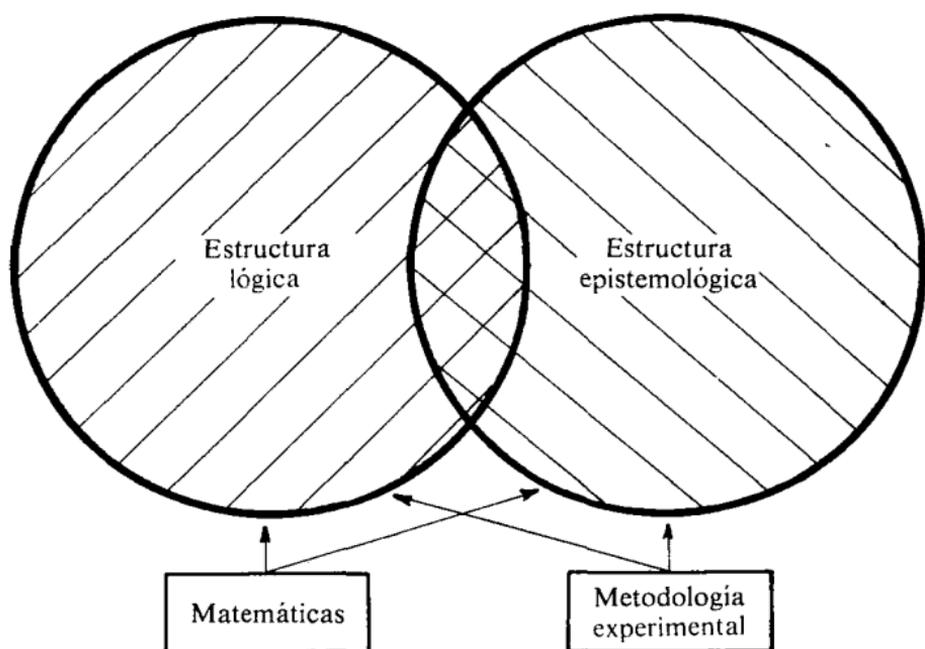
La estructura lógica está constituida por un conjunto de nexos o conexiones de tipo lógico-deductivo que enlazan los diferentes conceptos, leyes y modelos-teorías. En el capítulo 9.º tocamos ligeramente este punto cuando aludimos a las

características de «fertilidad lógica» y de «conexiones múltiples» de determinados esquemas conceptuales. La 2.^o Ley de Newton, por ejemplo, es *lógicamente anterior* al principio de inercia, dado que este último principio puede *deducirse lógicamente* de aquella ley (anulando las fuerzas exteriores al sistema). El principio de Fermat es lógicamente anterior a las leyes de la refracción de Snell, puesto que es posible *deducir* estas leyes a partir del mismo. Una serie de conexiones lógicas, en el campo de la Química, podría ser:

Modelos orbitales → Enlaces químicos → Propiedades de compuestos →
Naturaleza de las reacciones → Termoquímica de las mismas

La estructura epistemológica, por contraste, se refiere a la *génesis* histórica y experimental (inductivo-deductiva) que presenta el desarrollo de los conceptos científicos. Así, el principio de inercia de Galileo es *epistemológicamente anterior* a las leyes de Newton, puesto que las ha precedido históricamente. Las propiedades periódicas conocidas acerca de los elementos químicos son epistemológicamente anteriores a las teorías de capas atómicas, puesto que estas últimas han surgido (en parte) para dar una interpretación profunda a dichas propiedades. Es posible, sin embargo, *deducir lógicamente* gran parte de las propiedades químicas a partir de las teorías de capas.

Los órdenes lógico y epistemológico, por consiguiente, no son superponibles en la mayoría de los casos. Cualquier área científica, de acuerdo con las ideas anteriores, puede describirse como un conjunto de relaciones entre conceptos y elementos estructurales, siendo estas relaciones de tipo lógico y epistemológico; las matemáticas y la metodología experimental juegan un papel de gran trascendencia en todo este conjunto, pudiendo ser consideradas como instrumentos o vehículos que relacionan los conceptos existentes y permiten obtener nuevos conceptos. En el gráfico siguiente se refleja toda esta problemática:



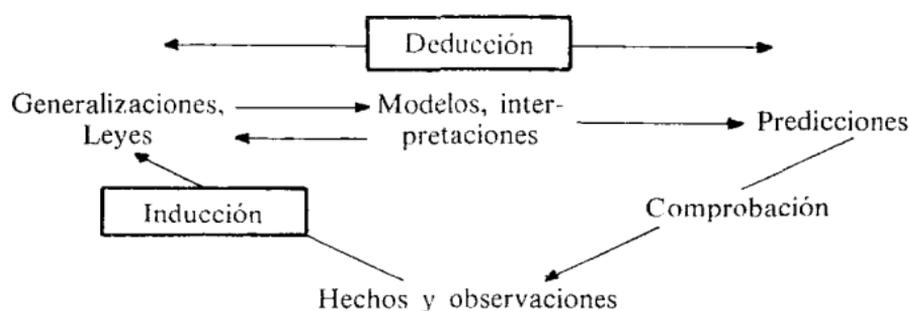
Al enfrentarse con la enseñanza de las ciencias, hay que tener en cuenta una tercera estructura, relacionada con los procesos de aprendizaje de los alumnos: la *Estructura Psicológica*. Da cuenta la misma de las formas y órdenes de presentación de los conceptos que mejor se adecuan a la naturaleza de la inteligencia del escolar y a sus modos naturales de aprendizaje. En resumidas cuentas: algunas partes de las asignaturas científicas pueden explicarse desde un punto de vista lógico-deductivo, y otras desde un punto de vista epistemológico (inductivo-deductivo-histórico), según resulte más eficaz y más adecuado a la forma de razonamiento del alumno. Es posible, incluso, llegar a utilizar enfoques didácticos «falsos», que no tienen nada que ver con la verdadera naturaleza de la ciencia, los cuales, sin embargo, pueden resultar altamente eficaces para favorecer el aprendizaje y la conceptualización. Así, una experiencia de laboratorio, en la que se simule un proceso de investigación, puede conllevar una fuerte simplificación o distorsión de la verdadera metodología que utiliza el científico y, sin embargo, ser muy eficaz para la formación de los alumnos.

VI.2. LOS METODOS DIDACTICOS INDUCTIVO-DEDUCTIVOS

No está totalmente definida la línea de separación entre las metodologías inductivas y las deductivas, dado que el proceso docente normal se nutre simultáneamente de ambas. No obstante, intentaremos definir los aspectos básicos de las dos, con objeto de aclarar la terminología utilizada en el campo de la didáctica de las ciencias. La psicología del aprendizaje puede ayudarnos en el planteamiento inicial. Por ejemplo, McDonald (2) ha expresado:

«Cuando un niño consigue captar una generalización, estructura sus experiencias por cauces que le faciliten la comprensión. Puede llegarse a una generalización a través de dos procedimientos: 1) por el método de *deducción*, partiendo de otras generalizaciones; 2) por el método de *inducción*, partiendo de las observaciones personales. El razonamiento utilizado en la geometría constituye un buen ejemplo del primer proceso... El proceso cognoscitivo aplicado en estas deducciones es el razonamiento lógico: el individuo parte de una generalización y, a través de un razonamiento lógico, llega a otras conclusiones que son, a su vez, generalizaciones. En el proceso de inducción, el individuo empieza con una serie de observaciones y, en base a ellas, llega a un principio general que le sirve para explicar o predecir las normas de relación que ha observado.»

Los procesos psicológicos de inducción y deducción están muy relacionados con los métodos científicos y deductivos que analizamos en el capítulo 2.^o. Entonces reflejamos la problemática en un esquema similar al siguiente:



Como es lógico pensar, las inducciones y deducciones realizadas en la vida corriente son mucho más groseras que los procesos similares de orden científico. El investigador (ya lo vimos en el capítulo 2.^o) procura simplificar los procesos y aislar variables, de tal manera que pueda obtener leyes y generalizaciones de amplia validez. Los modelos, las interpretaciones y las teorías que construye son constantemente puestas en evidencia, mediante la realización de predicciones o la obtención de conclusiones, todas las cuales se han de comprobar experimental u observacionalmente.

La metodología didáctica inductivo-deductiva ha de contribuir a *desarrollar el rigor de pensamiento* en el alumno, de tal manera que pueda dar sentido a sus observaciones y experiencias mediante la elaboración de modelos, y sepa relacionar convenientemente los distintos aspectos de su mundo conceptual. Conviene hacer énfasis, a lo largo del proceso didáctico, en *el razonamiento y la actividad intelectual* de los escolares, procesos mentales que son el resultado de la interacción de estrategias de tipo inductivo y de tipo deductivo.

No conviene confundir las anteriores estrategias o procedimientos con las que antes denominamos *estructuras epistemológicas y lógica* de la ciencia. La estructura epistemológica se refiere a la génesis (epistemología significa «teoría del conocimiento») de los conceptos científicos, la cual puede ser de tipo inductivo, deductivo, histórico, etc. La estructura lógica, sin embargo, hace alusión al conjunto de interrelaciones de tipo lógico-deductivo *actualmente existentes* entre dichos conceptos. Algunos ejemplos ayudarán a asimilar mejor esta terminología.

Experimentalmente, Boyle y Mariotte llegaron a obtener la famosa ecuación que expresa la evolución isotérmica de las variables presión y volumen en un gas que se comprime o expande. La llamada «ecuación de Boyle-Mariotte» tiene, por lo tanto, una génesis o gestación de tipo inductivo (a partir de las observaciones, se alcanzan las generalizaciones) y un carácter epistemológico del mismo tipo. Por otra parte, es posible «deducir» esta ley a partir de la ecuación de los gases perfectos, la cual, a su vez, se puede deducir de la teoría

cinética de los gases. La Ley de Boyle, de acuerdo con todo esto, tiene una relación de tipo lógico-deductivo con la teoría de los gases perfectos:

Observaciones experimentales de compresión de gases $\xrightarrow{\text{Inducción}}$ Ley de Boyle (carácter epistemológico inductivo)

Teoría de gases $\xrightarrow{\text{Deducción}}$ Ecuación de los gases perfectos $\xrightarrow{\text{Deducción}}$ Ley de Boyle (relaciones lógico-deductivas con otras leyes y modelos)

En este caso, por consiguiente, los procesos inductivos y deductivos coinciden en gran medida con la estructura lógica y epistemológica de la ley que hemos analizado. Pueden existir también, por otra parte, conceptos y modelos que se hayan *obtenido deductivamente*, en cuyo caso nos enfrentaríamos con estructuras epistemológicas de tipo deductivo.

En principio, no se puede decir a priori que los métodos didácticos inductivos sean mejores que los deductivos, o viceversa. La validez de estas afirmaciones depende de los siguientes factores:

- *Características intelectuales* y edad de los alumnos.
- *Nivel de conocimientos* previos.
- *Naturaleza de los conceptos* que se quiere enseñar.
- *Objetivos* educacionales que se pretende alcanzar.

Así, en el caso de la enseñanza elemental de las ciencias conviene hacer énfasis en enfoques inductivos (de las observaciones y los experimentos, a las interpretaciones, las generalizaciones y los modelos). Esto es así puesto que, como hemos visto en el capítulo anterior, conviene utilizar estrategias docentes acordes con el modo natural de aprendizaje de los alumnos y sus modos de pensamiento (método genético). Además, la metodología deductiva hace bastante énfasis en la utilización del cálculo y de las matemáticas, lo cual no se adecua demasiado a la estructura mental de los niños de menor edad.

En los niveles superiores (Bachillerato, Universidad) la metodología puede enriquecerse paulatinamente en aspectos deduc

tivos, dada la mayor madurez de los alumnos y dado su mayor caudal de conocimientos previamente adquiridos. La complejidad creciente de los contenidos a transmitir, por otra parte, exige este paulatino enriquecimiento, dado que, de otra manera, sería imposible avanzar en profundidad. Sin embargo, convendrá utilizar también estrategias inductivas si se pretende desarrollar la capacidad de generalización y de abstracción del alumno.

De acuerdo con Knoll (3), el procedimiento inductivo comporta las siguientes etapas (o, por lo menos, parte de ellas):

I. *Planteo del problema*

1. Motivación y presentación del problema.
2. Planteo del mismo.
3. Análisis y estudio comprensivo.

II. *Solución del problema*

1. Hipótesis reflexivas acerca de la solución.
2. Planteamiento de experimentos adecuados.
3. Realización y evaluación de los mismos.
4. Discusión de los resultados.
5. Abstracción.

III. *Valoración del problema y solución*
(consolidación y profundización).

Tal como la plantea Knoll, por consiguiente, la metodología inductiva está muy relacionada con los enfoques de tipo experimental. Este es un planteamiento riguroso, sin embargo, y es posible también utilizar procedimientos más abiertos y menos cuantitativos; así, a un nivel de educación básica o media es muy importante, en gran parte de los casos, desarrollar la intuición y la comprensión de fenómenos desde un punto de vista cualitativo, y no totalmente numérico y riguroso.

La metodología deductiva discurre dentro del mundo de las abstracciones, y el contacto con la realidad observacional o experimental tiene lugar más bien a posteriori. Por ejemplo, los alumnos pueden obtener experimental o inductivamente la Ley

Ohm (relación directa entre diferencias de potencial e intensidades de corriente) y, a partir de ella, obtener deductivamente las ecuaciones que regulan el comportamiento de las redes y mallas de circuitería. Dichas ecuaciones pueden contrastarse con la realidad, posteriormente, analizando su aplicación en situaciones concretas y experimentales. Este ejemplo nos ilustra el modo en que ambos procedimientos (inductivo y deductivo) están *íntimamente implicados y relacionados*. En el caso de no disponer de material de laboratorio de una calidad mediana, es factible suministrar a los alumnos datos numéricos o experimentales, a partir de los cuales se inferirán o inducirán leyes y generalizaciones pertinentes, así como modelos interpretativos que den sentido a las mismas (con la ayuda y participación del profesor, claro está).

La introducción de enfoques inductivos, incluso en los niveles de la enseñanza secundaria superior, puede contribuir a sanear y airear el ambiente de aprendizaje. Efectivamente, a lo largo de los últimos años se ha apreciado una creciente tendencia a cargar los cursos de enseñanza secundaria (incluso, también los de primaria) de aspectos deductivos, formalistas y «formulistas», no demasiado asimilados por el alumno medio. La enseñanza de las ciencias, como de cualquier otra rama intelectual, debe mantener un *adecuado contacto con la realidad*, con objeto de procurar un aprendizaje sano y realista. Los aparentemente elevados valores de una enseñanza simbolista y «de libro» han sido puestos con frecuencia en tela de juicio, al comprobarse la escasa comprensión y asimilación de los esquemas conceptuales básicos por parte del alumnado. Es importante, sin embargo, no identificar inductivismo con realismo, dado que también los enfoques deductivos pueden establecer vínculos de contacto ricos y fructíferos con el mundo natural y tecnológico.

¿Cuál es el papel del profesor dentro de este panorama? Tanto en el caso de la metodología inductiva como de la deductiva, el docente puede adoptar una postura directiva, o bien una postura abierta. No conviene, por consiguiente, identificar un determinado enfoque de los dos con una realidad más participativa de los alumnos. Lo importante, repetimos

una vez más, es *fomentar la actividad intelectual y el razonamiento*, estableciendo un adecuado caudal de *relaciones entre los modelos y las teorías con el mundo real y concreto*, pudiendo ser estas relaciones de tipo inductivo o de tipo deductivo.

La posibilidad de conjugar tanto el directivismo como el no directivismo con las dos direcciones de aprendizaje (inductiva y deductiva) queda bien establecida en la siguiente tabla, que ofrecemos a nivel de ejemplo (4):

	INDUCTIVISMO	DEDUCTIVISMO
Secuencia de aprendizaje guiada	Se ofrecen ejemplos de diferentes organismos antes de explicar los nombres de las especies y los principios de clasificación (secuencia ejemplos-reglas).	Se dan los nombres de las especies y los principios de clasificación. Seguidamente, se presentan diferentes organismos a nivel de ejemplo (secuencia regla-ejemplos)
Secuencia no guiada o dirigida	Se brindan a los alumnos ejemplos de organismos para que ellos mismos los caractericen y clasifiquen. Después que ha tenido lugar este proceso se introducen las clasificaciones científicas existentes.	Se dan los principios de clasificación. Seguidamente, los estudiantes se enfrentan con un conjunto de organismos que deben clasificar.

VI.3. EL APRENDIZAJE POR EL DESCUBRIMIENTO

Abundan los tratados de Didáctica de las Ciencias, especialmente los dirigidos a los niveles elementales, en los que se cantan las excelencias de la metodología heurística (5) o centrada en el descubrimiento (el vocablo «heurístico» procede de «heureka», término bien conocido por todos). En esta metodología se procura que sean *los propios alumnos* los que descubran relaciones entre hechos científicos o que construyan interpretaciones adecuadas de los mismos. Dicho con otras pala-

bras, son los propios escolares los que «reconstruyen» el saber científico, de acuerdo con sus potencialidades y con las exigencias de los programas de contenidos.

Karplus, director del proyecto Science Curriculum Improvement Study, ha analizado en numerosas ocasiones la problemática implicada en la metodología heurística (6), distinguiendo en relación con la misma entre los procesos de *invención* y de *descubrimiento*. En el primero de estos procesos, los alumnos *construyen* esquemas conceptuales que den sentido a observaciones y experiencias vividas. Esta intervención intelectual no es patrimonio de la estructura escolar, dado que, desde los primeros años de edad, los niños desarrollan un mundo conceptual que les facilita la clasificación y asimilación de sus vivencias (ver en el capítulo anterior).

En los procesos de *descubrimiento*, los alumnos reconocen la existencia de relaciones entre observaciones y conceptos, o entre diferentes conceptos o, finalmente, entre distintas observaciones. Es fácil apreciar, en este conjunto de nexos de relación, los procedimientos inductivos y deductivos que analizamos en el anterior apartado. En las fases de descubrimiento, por tanto, los escolares articulan y matizan el mundo conceptual que han construido previamente, y lo engrandan y enriquecen. Un ejemplo propuesto por el propio Karplus puede ilustrar de forma adecuada los puntos anteriores.

Se trataría, en dicho ejemplo, de que los alumnos «inventasen» o construyesen el concepto de campo magnético, y de que «descubriesen» sus características y propiedades. El proceso de invención puede ser facilitado por el propio profesor, proponiendo experimentos y símiles adecuados (así, el símil de una goma elástica que enlaza dos objetos puede conducir al alumno a «inventar» un cierto nexo de unión entre dos imanes, que varía con la distancia a que se sitúan ambos, y que ocasiona la atracción o repulsión de los mismos). El proceso de descubrimiento tendría como objetivo la articulación y precisión del concepto antes inventado. Así, los niños pueden llegar a descubrir que con limaduras de hierro, tornillos, clavos, etc., es posible poner de manifiesto la intensidad y la dirección del campo magnético en diferentes puntos; también se puede «des-

cubrir» las similitudes existentes con el campo creado por conductores recorridos por corrientes eléctricas, etc.

Han sido varios los psicólogos defensores de la metodología heurística en los niveles y ciclos elementales, entre los cuales cabe citar a Jerome Bruner y a Jean Piaget (ver el capítulo anterior, en el cual se analizan algunos puntos de vista de dichos autores). Una de las ventajas de esta metodología, según Bruner, radica en que se fortalece el proceso de aprendizaje al facilitar la organización y la coherencia de los esquemas conceptuales adquiridos.

No cabe duda que los conceptos mejor afianzados y más anclados en el mundo natural y tecnológico son los que comportan una vivencia o una *participación personal* en el proceso de aprendizaje (invitamos al lector a revisar su propio proceso de formación, y posiblemente llegue a apreciar la validez de las líneas anteriores). Existe, sin embargo, un problema educativo de gran magnitud y envergadura, y que no conviene perder de vista en ningún momento: Dada la riqueza conceptual y metodológica que encierra el saber científico actual, ¿cómo se puede compaginar un aprendizaje suficientemente amplio y globalizado con la construcción y el descubrimiento personales de dicho saber?

Como se ha dicho en numerosas ocasiones, si todos los científicos tuvieran que partir de cero la ciencia no podría haber avanzado al ritmo creciente que lo ha hecho en los últimos siglos, ni daría muestras del notable carácter acumulativo que la diferencia de otras actividades humanas. De aquí que la problemática de la transmisión de descubrimientos y teorías, así como de la comunicación entre científicos, tenga tanta importancia hoy en día. Por otra parte, no debemos olvidar que en los niveles elementales y secundarios se debe tender más hacia la *formación y el desarrollo de la comprensión*, que hacia la acumulación de saberes, por articulada y organizada que sea dicha acumulación.

Se ha puesto de manifiesto en numerosas ocasiones —y los estudios de Piaget avalan este punto— que la profundidad conceptual de los programas va desfasada con frecuencia res-

pecto al nivel de razonamiento y de maduración de los escolares. Y éste no es el mejor camino para lograr un aprendizaje sano y armónico, ni para sentar unas bases sólidas sobre las que apoyar las etapas sucesivas de formación. El problema didáctico que conviene analizar, en relación con todo esto, se centra en torno al *equilibrio* entre la suficiente densidad de contenidos, por una parte, y la participación personal en la construcción conceptual de los mismos, por la otra.

En los niveles más básicos y elementales (como ya hemos manifestado en diferentes ocasiones) es fundamental hacer énfasis en enfoques ricos en componentes inductivos, así como en el descubrimiento de relaciones interconceptuales por parte de los alumnos. Las características psicológicas de estas edades, junto con los objetivos específicos de la enseñanza científica a este nivel, así lo exigen.

En los niveles secundarios conviene desplazar el centro de gravedad hacia la metodología deductiva, la cual es también perfectamente compatible con los enfoques heurísticos; la localización de relaciones entre conceptos y abstracciones, pongamos por caso, es un proceso típicamente deductivo que supone la participación activa del alumno en el proceso de aprendizaje, y de ahí su carga heurística. Sin embargo, y dada la mayor densidad de los programas y la conveniencia de suministrar una visión comprensiva y panorámica del saber científico, habrá que dar por supuestas muchas cosas. Esta última postura, finalmente, debe ser compatible con una suficiente *asimilación de los conceptos básicos* sobre los que se apoyan los superiores, así como con una visión no distorsionada de la naturaleza epistemológica de los esquemas conceptuales analizados (ver el capítulo 2.º).

Dados los condicionamientos materiales y temporales existentes, que dificultan e incluso imposibilitan la introducción de enfoques heurísticos individualizados y experimentales, será necesario la mayor parte del tiempo recurrir a *actividades de tipo dialéctico*, tanto a nivel de gran grupo como mediante el trabajo en pequeños grupos. Es posible, en efecto, encauzar el razonamiento de los alumnos por determinados derroteros argumentales y ayudarles a *descubrir* relaciones entre conceptos

y entre observaciones, así como a *buscar* interpretaciones adecuadas de determinados fenómenos. Esto se puede hacer planteando cuestiones a la clase y facilitándole la búsqueda de respuestas personales a las mismas (mediante pistas y estímulos que ayuden a centrarse en el tema). Las preguntas de tipo polémico (ver el capítulo anterior), la presentación de enigmas y de situaciones extrañas, entre otras vías, pueden contribuir a estimular la atención y la participación de la clase.

Las preguntas, lo mismo que las cuestiones de evaluación o los problemas que se planteen para su resolución, pueden ser de tipo *cerrado* o *convergente*, o bien de tipo *abierto* o *divergente*. Las primeras tienen una única solución «válida», mientras que las segundas admiten una gran variedad de respuestas, dependiendo del nivel de creatividad de los alumnos. Dado que en el apartado siguiente estudiamos con algún detalle el problema de la *creatividad*, aplazamos para entonces la discusión de este punto.

VI.4. LA CREATIVIDAD CIENTIFICA

En los últimos años, sobre todo a raíz de los trabajos de Guilford en 1950 (7), se ha venido analizando con intensidad el problema de la creatividad como aspecto o faceta mental que pudiera ser desarrollada a través de determinados enfoques pedagógicos. Inicialmente, se tendió a identificar *creatividad* con *originalidad* o *divergencia*; últimamente, sin embargo, se ha huido de esta identificación.

Mednick, por ejemplo (8), ha puesto de manifiesto que «el pensamiento creador se distingue del pensamiento original por la imposición de ciertos condicionantes o requerimientos». Estos requerimientos son, fundamentalmente, de tipo *práctico* y *realista*. Es decir, una contribución creativa ha de ser válida y fructífera, y no simplemente original o esotérica. De acuerdo con esta posición, se ha intentado desarrollar y validar tests psicológicos que pudieran poner de manifiesto el potencial creador de los científicos, los tecnólogos y otros profesionales. Tests, es decir, que pudieran predecir dicho potencial, o que

correlacionaran altamente con las características de creatividad y de productividad profesional de las personas analizadas

Por los años 50, Roe había estudiado con intensidad los aspectos intelectuales de destacados científicos, pero su estudio no llegó a los niveles de productividad científica. Se quedó, fundamentalmente, en los niveles de razonamiento medidos por los tests de inteligencia clásicos (9). Así, algunos de los hallazgos de sus estudios fueron del siguiente tipo:

- Los físicos teóricos puntúan más alto en los tests de tipo verbal, mientras que los experimentalistas desarrollan mejor las pruebas de tipo espacial.
- Los biólogos y los físicos experimentales presentan una marcada tendencia a utilizar imágenes visuales en su pensamiento. Los físicos teóricos, en contraste, muestran mayor tendencia a la verbalización.

Hoy en día se ha demostrado que existe una cierta correlación entre el potencial creativo y la capacidad para establecer y localizar relaciones entre conceptos o situaciones aparentemente disociados o alejados (Teoría de las Asociaciones Remotas, de Mednick; véase la referencia 8). Esta correlación se identifica en gran medida con la *Teoría de la Bisociación*, de Koestler (10), construida a partir del análisis histórico-biográfico de científicos destacados y de sus producciones intelectuales. *Bisociación* o *Asociación Binaria* es un término acuñado por el propio Koestler, y hace alusión a la capacidad de asociar o de localizar relaciones entre conceptos o estructuras, inicialmente considerados como independientes o disociados. Así, la Teoría de Darwin sobre el Origen de las Especies puede considerarse, en cierta medida, como la combinación o «bisociación» de dos ideas existentes previamente: la idea de la evolución o perfectibilidad, y la de subsistencia del más apto ante condiciones adversas.

¿Qué conclusiones didácticas pueden extraerse de todo lo anterior? Si la creatividad está relacionada con la capacidad de *asociación* y de *síntesis*, interesará promover en clase la búsqueda de relaciones entre conceptos, así como la realiza-

ción de trabajos de ensayo y de síntesis (ver el capítulo 10, en torno a la evaluación de los aprendizajes, así como el capítulo 1.º, en lo que se refiere a la taxonomía de objetivos educacionales). Los enfoques heurísticos, dada su carga en procedimientos de construcción conceptual, pueden resultar de gran valor formativo en esta línea. Si bien es cierto que, con estos enfoques, se restringe notablemente la amplitud de los programas de contenidos cubiertos en clase, sus potencialidades educativas no deben ser desechadas a priori.

Incluso en los exámenes es factible hacer énfasis en ítems o cuestiones que pongan de manifiesto el potencial creador y asociativo de los alumnos. Así, Miller (11) ha argumentado que es más importante la capacidad de *plantear preguntas y cuestiones*, que la posibilidad de dar respuestas cerradas y estereotipadas. Este profesor universitario suele proponer a sus alumnos diagramas o dibujos, del tipo de los que incluimos a continuación, y les invita a plantear diferentes preguntas o a imaginarse problemas con respuesta factible, en torno a dichos dibujos.



El progreso de la ciencia, de acuerdo con Miller, no radica tanto en la construcción de respuestas lógicas como en la capacidad de hacer preguntas adecuadas y fructíferas acerca de la Naturaleza: «Fue preguntándose a sí mismo las cuestiones de Newton, aunque de otra manera más adecuada, como Einstein descubrió la Relatividad.» El planteamiento de dilemas, y la elaboración de interrogantes en torno al mundo natural, suponen el juego de actividades mentales de tipo sintético y constructivo, y de ahí sus ricas posibilidades en el ámbito del desarrollo intelectual.

Los ítems de «Afirmación-Razón», que se presentan en el capítulo 10, pueden resultar de interés para evaluar la capacidad analítico-sintética (si están bien contruidos, por supuesto). También los trabajos de ensayo y los métodos de proyectos pueden aportar elementos valiosos a las diferentes facetas del potencial creador.

VI.5. LA RESOLUCION DE PROBLEMAS

Se ha afirmado con frecuencia que uno de los objetivos más importantes de la educación científica se localiza en el desarrollo de las capacidades implicadas en los procesos de resolución de problemas. Estos procesos se apoyan en niveles previos aceptables de conceptualización, comprensión y aplicación, sin los cuales es muy difícil pretender realizar las operaciones de análisis y síntesis involucradas en los niveles de operatividad superior (revisar, en el capítulo 1.º, todo lo relacionado con la taxonomía de los objetivos educacionales en las áreas científicas).

De forma amplia, se pueden clasificar los problemas en dos tipos fundamentales: *problemas de tipo abierto* y *problemas cerrados* (también denominados *divergentes* y *convergentes*, tal como vimos en el apartado 3.º). Las preguntas de examen propuestas por Miller, y que analizamos en el anterior apartado, pueden englobarse dentro del primer tipo de problemas (dado que no tienen una única respuesta válida y que ofrecen multitud de perspectivas de acuerdo con el nivel de originalidad y de síntesis constructiva de los alumnos). Se ha discutido con frecuencia, en el ámbito de la psicología, cuál es la línea de separación entre los factores mentales implicados en los procesos intelectuales de tipo convergente y los procesos creativos y divergentes; en una primera categorización, y en el campo de las ciencias, podríamos asociar «inteligencia abstracta» con la capacidad de resolver problemas de tipo cerrado y «creatividad», con la correspondiente a la resolución de problemas abiertos.

Gagné (12) ha expresado estas observaciones de forma realista y acertada. Citamos algunas frases suyas, en relación con este punto:

«Nadie puede dejar de admirar los grandes descubrimientos intelectuales de la historia del pensamiento —las leyes del movimiento, de Newton; los principios del movimiento planetario, de Kepler; la teoría general de la relatividad, de Einstein—. También son asombrosas las creaciones artísticas realizadas en los campos de la pintura, la música y la literatura. Un gran descubrimiento científico o una gran obra de arte son, con toda seguridad, el resultado de una actividad de resolución de problemas.»

Probablemente no se llegue nunca, en el campo educativo, a descubrir los canales de aprendizaje que potencien el desarrollo del alumno medio hasta las alturas creativas y constructivas de los grandes hombres de genio. Sin embargo, es nuestra opinión, y la de muchos psicólogos, que se puede *educar la capacidad del alumno* en los distintos niveles de resolución de problemas, de tal manera que dejen éstos de tener el carisma de cumbres difícilmente escalables. Todo proceso de resolución de problemas conlleva, decíamos antes, el dominio de una serie de factores previos:

- Adecuada conceptualización de los elementos implicados.
- Capacidad de simbolización.
- Determinadas destrezas matemáticas (si se trata de problemas de tipo cuantitativo-analítico).
- Comprensión de la terminología.
- Aplicación, a situaciones concretas, de principios abstractos.

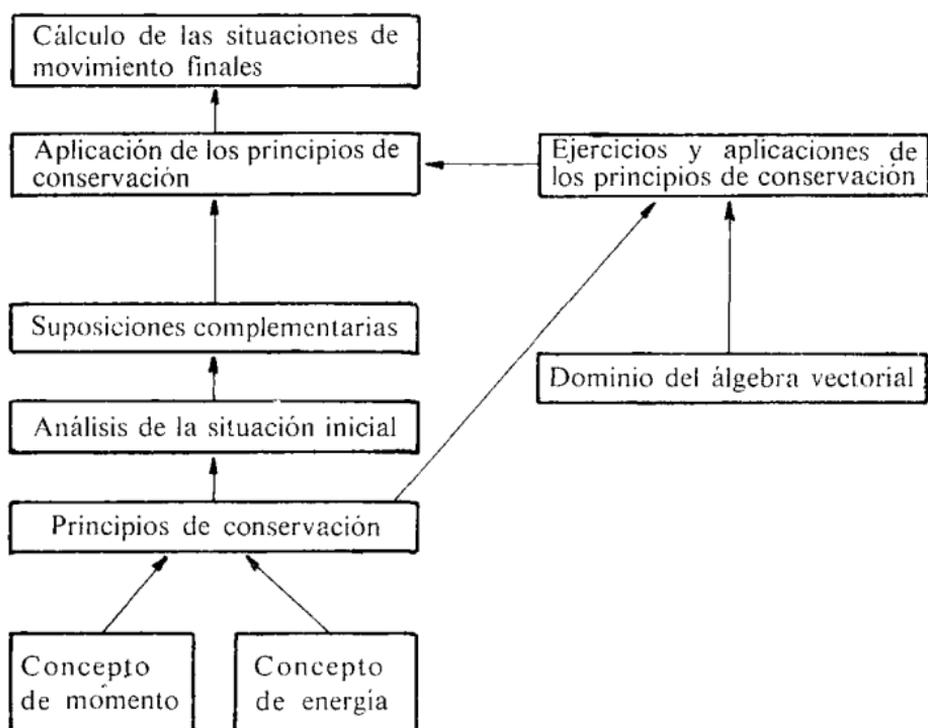
El dominio de estas etapas es condición necesaria, pero no suficiente, para resolver cuestiones y problemas de elevado orden intelectual. Esta resolución comporta la utilización de una *estrategia de acción*, de tal manera que el conjunto factores antes expresado se ponga en juego y se articule convenientemente. La enseñanza de esta estrategia consideramos que es

posible siempre que se aclaren a los alumnos las funciones de cada una de las etapas implicadas en ella.

De acuerdo con Gagné (13), no basta con resolver un número elevado de problemas en clase para desarrollar en los alumnos las habilidades de resolución autónoma de los mismos. Es importante, para conseguir este objetivo, «diseñar etapas de enseñanza adecuadas, que guíen el pensamiento de los alumnos, pero que no faciliten las respuestas». Interesa, claramente, que sean *los propios escolares* quienes den respuesta a las situaciones planteadas, asumiendo el profesor un papel de guía y no de informador. Con objeto de facilitar la participación y la construcción de respuestas por parte del alumnado, al profesor compete dar las necesarias *pistas* (pistas, no soluciones), así como prestar ayuda en la búsqueda de estrategias de ataque al problema.

Gagné, cuyos estudios empíricos acerca de la psicología del aprendizaje han influido poderosamente la estructuración del curso Science-A Process Approach (ver los capítulos 9.º y 12.º), ha analizado y desglosado el proceso analítico-sintético de resolución de problemas en las llamadas *jerarquías de aprendizaje*, las cuales ha de escalar el alumno antes de alcanzar una jerarquía o nivel operacional y conceptual elevado. Consideramos un ejercicio mental de gran valor para el profesorado el desglose de los procesos intelectuales de alto nivel en sus diferentes jerarquías o peldaños previos e integrantes. Este desglose puede facilitar en alguna medida el aprendizaje de los procesos de resolución de problemas. Ofrecemos a continuación un ejemplo sencillo, a nivel de ilustración.

Objetivo final: resolución de problemas de choques



Con objeto de no forzar la memorización por parte de los alumnos, y de polarizar su énfasis sobre los niveles de conceptualización, comprensión y aplicación, puede resultar interesante brindarles el uso de «formularios» y «recordatorios» desarrollados por ellos mismos o con la ayuda del profesor (estos formularios pueden elaborarse como parte de las técnicas de trabajo intelectual); también es factible evaluar la capacidad analítico-sintética mediante exámenes «a libro abierto», y contribuir a desterrar la obsesión por memorizar expresiones y formulaciones. La resolución de problemas, recordémoslo una vez más, implica hábitos y estrategias; los ejercicios de comprensión-aplicación, por contraste, suponen la concretización simple de principios y esquemas conceptuales en situaciones particulares, y no conllevan una estructura jerarquizada de operaciones (ver el capítulo 1.º). Es importante, por consiguiente, saber lo que se pretende evaluar, a la hora de seleccionar métodos y sistemas.

Tanto los ejercicios de aplicación como los ejemplos concretos y los problemas de orden superior, encierran un gran valor formativo en la enseñanza de las ciencias. Como ha hecho notar Kuhn, en su libro *La Estructura de las Revoluciones Científicas* (véase el capítulo 2.º), es a través de los ejercicios y los problemas que los conceptos abstractos y los paradigmas interpretativos alcanzan suficiente sentido para el aprendiz de las ciencias. Así, la substancia de la naturaleza vectorial de determinadas magnitudes de la Física, pongamos por caso, no se puede comprender y asimilar suficientemente sin un número adecuado de ejercicios y problemas, en los cuales se ponga de manifiesto *en situaciones concretas* el sentido del álgebra vectorial. Tampoco tendrá gran sentido, en el campo de la Química, estudiar las leyes de la estequiometría, sin una serie conveniente de ejercicios que pongan de relieve las diferentes manifestaciones particulares y las articulaciones experimentales de las mismas.

VI.6. EL METODO DE PROYECTOS

Ya en el capítulo 3.º, al centrarnos en la problemática de la educación tecnológica, apuntamos la posibilidad de que los alumnos desarrollen proyectos de orden técnico, instrumental, de diseño, etc. El enfoque inglés, que presentamos entre otros, hace énfasis en el método de proyectos como sistema de ricas y variadas posibilidades educacionales.

Un *proyecto* es, en resumidas líneas, una tarea de aprendizaje y de investigación, en la cual se embarcan grupos de alumnos, o bien diferentes alumnos individuales. Los temas específicos de los proyectos pueden ser distintos para los diferentes grupos de trabajo, dando cabida de esta manera a las aspiraciones particulares de los mismos. Los resultados y las conclusiones obtenidos se pueden poner en común finalmente y discutir en sesiones de gran grupo.

Los tipos más corrientemente utilizados de proyectos son los siguientes:

- Trabajos de *investigación bibliográfica*, que tienen como finalidad el estudio analítico y en profundidad de algún tema específico, a lo largo de un cierto periodo de tiempo. El estudio se recoge en un reportaje del trabajo o ensayo-informe, el cual se somete a discusión posterior por parte de la clase, o bien por parte del profesor y los autores del proyecto.
- Proyectos de *orden tecnológico*, que comportan la utilización de una amplia variedad de capacidades de tipo manual e intelectual. Así, puede tratarse de un trabajo de diseño de instrumentos, de estudio analítico de determinados mecanismos, de solución a problemas de orden práctico, etc. (Véase el capítulo 3.º)
- Proyectos de tipo *científico-experimental*, que suponen la realización de diseños experimentales, recogida y estudio de datos, análisis de resultados y búsqueda de modelos interpretativos.

Conviene decir que la mayor parte de los proyectos propuestos en la bibliografía anglosajona conllevan, en mayor o menor medida, aspectos relacionados con las tres categorías que acabamos de presentar. De esta manera, puede tratarse de un proyecto de estudio de un determinado tema científico, que implique una revisión bibliográfica previa, el diseño de aparatos y de instrumental de medida, y la recogida y análisis de datos. En todo caso, y teniendo en cuenta la variedad de inclinaciones y aptitudes de los escolares, se puede brindar la posibilidad de trabajar en proyectos que se centren fundamentalmente en alguna de las tres áreas de trabajo antes presentadas (bibliográfica, tecnológica o experimental).

Dada la fuerte dedicación en horas de trabajo que conlleva un proyecto, así como las necesidades de orden material implicadas, no consideramos conveniente embarcar a cada alumno o grupo de alumnos en más de un proyecto a lo largo del curso. Es muy importante que *toda la clase* se enriquezca con los estudios, análisis y descubrimientos realizados por cada equipo de trabajo; por ello, es de gran interés la puesta en

común y la discusión colectiva de las diferentes aportaciones individuales y grupales.

No conviene identificar el método de trabajo por proyectos con la metodología inductiva o la deductiva, analizadas en otro apartado de este mismo capítulo. Una clase magistral puede centrarse en enfoques inductivos o deductivos, lo mismo que el trabajo de proyectos. En este último caso, sin embargo, la iniciativa, el desarrollo y la exposición de resultados corresponden a los propios alumnos y no al profesor. El *trabajo en equipo* (por ejemplo, para el estudio de determinados temas del programa, o bien para la resolución de cuestiones y problemas y para la realización de aspectos prácticos del laboratorio) tampoco es superponible al *método de proyectos*, dado que carece de algunas de las siguientes componentes fundamentales de este último:

- Objetivos bien definidos (por parte del profesor o del grupo), pero metodología de trabajo planificada y desarrollada fundamentalmente por los alumnos.
- Gran diversidad de lugares de trabajo: se puede desarrollar el proyecto en clase, en el laboratorio, en casa, en la biblioteca, en una fábrica, en diversos lugares de reunión, etcétera.
- Gran laxitud en la asignación de tiempo. Así, se pueden destinar desde varias semanas, hasta varios meses, para la realización del trabajo, sin un control estricto del uso de los diferentes períodos de elaboración.
- Libertad para la asignación de tareas a los miembros del grupo; es el propio equipo el que casi siempre distribuye cometidos a cada uno de sus componentes individuales.
- Papel secundario del profesor, el cual se limita fundamentalmente a resolver las dudas concretas que le plantean los alumnos y a aconsejarles en los aspectos metodológicos que sea necesario. De esta manera se favorece al máximo la iniciativa de los alumnos.

Un ejemplo de estructura para un proyecto en el área de la Biología podría ser el siguiente (14):

Título del proyecto: «El agua en el medio ambiente».

1. Cómo despertar el interés: mediante sugerencias del profesor, discusiones de clase, experiencias personales, experimentos en el laboratorio, visitas, artículos de prensa, etc.

2. Planteamiento de problemas y cuestiones, que pueden ilustrar diferentes modos de abordar el problema: ¿De dónde viene el agua? ¿Cómo conseguimos agua para nuestras casas? ¿Procesos de purificación? ¿Qué organismos se encuentran en el agua? ¿Cuál es su importancia para el riego y la agricultura?, etc.

3. Aspectos conceptuales y metodológicos relacionados con la Biología que pueden ser cubiertos en el proyecto: ciclos del agua, contenidos acuosos de las células, papel que desempeñan los organismos biológicos en la purificación, análisis de muestras de aguas, organismos patógenos en las aguas, etc.

4. Aspectos paralelos e interdisciplinarios que se encuentran implicados en el proyecto: propiedades físico-químicas del agua, dureza y métodos para reducirla, filtración, floculación y sedimentación, fuentes geológicas del agua, usos industriales, problemas de la polución del medio ambiente, etc.

Como es posible apreciar a partir de las anteriores sugerencias, se encuentran implicados en el proyecto aspectos muy variados dentro del mundo educacional, tanto en lo que se refiere a las ciencias como a las tecnologías y a los problemas del medio ambiente. Dado que un grupo o varios grupos de escolares se encuentran inmersos en un *proceso de investigación* (bibliográfico, instrumental, científico), el aprendizaje puede llegar a ser muy fructífero, y se puede conseguir un alto nivel motivacional y de interés. Esta motivación puede comunicarse posteriormente al resto de la clase, en las sesiones de exposición de los resultados conseguidos y a lo largo de las discusiones que se originen. En lo que se refiere a los contenidos implicados, no existe gran diferencia con las llamadas «unidades didácticas» de nuestra antigua enseñanza primaria, ni con los enfoques didácticos articulados en torno a diferentes «centros de interés». La diferencia, sin embargo, cabe localizarla en la *metodología de trabajo*, dado el alto nivel de auto-

nomía y de realización personal por parte de los escolares (por ello, muchos de los trabajos y proyectos solamente pueden encomendarse a los alumnos de los ciclos superiores). Es importante tener en cuenta estas últimas observaciones y puntualizaciones, con objeto de diferenciar claramente entre distintos procedimientos didácticos.

Los proyectos que se pueden realizar en el campo de la Física son de gran variedad (15):

- Estructura de materiales.
- Almacenamiento y transferencia de energía.
- Fricción entre sólidos y líquidos.
- Medición de magnitudes eléctricas.
- Transmisión y recepción de ondas electromagnéticas.
- Motores y generadores.
- Instalaciones eléctricas en los domicilios.
- Aparatos emisores en radiodifusión.
- Pérdidas de energía.
- Aspectos históricos de la Física.
- Aspectos sociopolíticos de la Física.

En lo que se refiere a la Química, los proyectos pueden llevarse a cabo en el laboratorio escolar, o también en localizaciones exteriores a los centros educativos (16); por ejemplo, en fábricas, talleres, exposiciones científicas, bibliotecas, etc. Algunas áreas posibles de trabajo pueden ser las siguientes:

- La combustión y la energía.
- El estudio del agua.
- Química del agua marina.
- Jabones y detergentes.
- Moléculas gigantes.
- Procesos químicos industriales.
- Química de los productos textiles.
- Implicaciones sociales de la Química.
- Aspectos históricos y humanísticos.
- Etcétera.

Finalmente, algunas zonas de trabajo de proyecto, en el área de la Biología, podrían ser (14):

- Alimentos y nutrición.
- Protección del medio ambiente.
- Las enfermedades.
- La supervivencia de las especies.
- La evolución del hombre.
- Problema de los residuos y detritus.
- Significación biológica de los servicios sociales.
- Problemas de desnutrición en el mundo actual.
- La pesca como medio de suministro de energías alimenticias.
- Los habitats.
- Etcétera.

VI.7. RESUMEN DEL CAPITULO

El edificio científico está dotado de dos estructuras, parcialmente superpuestas: la estructura lógica (conjunto de nexos de unión y de derivaciones entre los distintos esquemas conceptuales) y la epistemológica (génesis y formación de los distintos conceptos y generalizaciones). En gran medida, esta segunda estructura es de tipo inductivo, pero tiene también componentes deductivas, y de ahí que exista un cierto grado de superposición con la primera.

La metodología didáctico-deductiva se centra sobre todo en la estructura lógica; la inductiva coincide parcialmente con la estructura epistemológica (en lo que tiene esta última de inductiva), pero es más amplia en algunos aspectos; así, es posible diseñar enfoques inductivos de gran valor didáctico y que, sin embargo, falsean o simplifican la realidad de la metodología científica y de la verdadera génesis de los conceptos a explicar.

Los enfoques heurísticos favorecen el descubrimiento personal, por parte de los alumnos, de esquemas interpretativos y conceptuales. Estos enfoques pueden ser de tipo deductivo («deducción» de unos conceptos a partir de otros previamente

conocidos) o de tipo inductivo (a partir de observaciones y experiencias personales, los alumnos intentan generalizar e interpretar). En los niveles más básicos, es de gran interés hacer énfasis en las metodologías inductivo-heurísticas, con objeto de lograr una buena asimilación y comprensión de los contenidos curriculares; en los niveles secundarios, y debido a la necesidad de cubrir programas más amplios, comienzan a cobrar importancia también los enfoques deductivos; es importante, sin embargo, asegurar una buena comprensión de los conceptos básicos y una intervención discursiva de los alumnos: se debe hacer continua alusión a la realidad, dado que la ciencia está anclada en el mundo que nos rodea, y de ahí que la metodología deductiva (con su gran carga de simbolismos y de formalismos) se deba utilizar con precaución.

El capítulo termina con un análisis elemental de los procesos de resolución de problemas, del razonamiento creativo en las ciencias y de los métodos de proyectos. Tradicionalmente, se ha solido hacer demasiado énfasis en los problemas de tipo cerrado o convergente (con solución única e, incluso, camino único hacia la misma); abogamos en algunas partes por el planteamiento de problemas de tipo abierto, favorecedores de una intervención discursiva divergente, así como por el desarrollo de proyectos de investigación que den cabida a la creatividad y personal hacer de los alumnos.

CUESTIONES DE APLICACION Y AUTOEVALUACION

1. Analice y critique las siguientes afirmaciones:
 - Los métodos de enseñanza-aprendizaje de tipo inductivo son los que más se asemejan a los verdaderos procedimientos de la ciencia.
 - En los niveles secundarios del currículo escolar no es conveniente utilizar la metodología inductiva.
 - La «estructura lógica» de la ciencia es fundamentalmente de tipo deductivo, mientras que la «epistemológica» lo es de tipo inductivo.

- Los procesos de resolución de problemas difícilmente pueden ser enseñados con fruto a los alumnos menos aventajados.
- Una cosa es «inteligencia» y otra es «creatividad». Los factores intelectuales implicados en ambos aspectos son completamente distintos.

2. Programe un período de clase haciendo énfasis en enfoques de tipo inductivo (partiendo de los hechos, las observaciones y los aspectos concretos, para llegar a las leyes, los principios y las generalizaciones). Si no dispone de material experimental adecuado, procure dar suficientes datos en clase, o bien haga reflexionar a los alumnos sobre sucesos o fenómenos que ellos mismos hayan vivido.

3. Intente desarrollar un período de clase articulado en torno a procesos de aprendizaje «por el descubrimiento». Si no tiene la posibilidad de hacerla experimental, por no disponer de suficiente tiempo o de material de laboratorio, procure que sean los propios alumnos quienes interrelacionen conceptos y principios previamente conocidos e intenten desarrollar interpretaciones y modelos adecuados. Esfuércese por adoptar una postura docente de ayuda y apoyo, y no una dogmática o expositiva. Si el razonamiento de los escolares discurre con lentitud, suministre las pistas y ayudas que estime adecuadas, pero sin anticipar soluciones o interpretaciones prefijadas con demasiada presteza. Estimule la participación de los alumnos menos aventajados o los más retraídos, y no deje que cojan la iniciativa constantemente unos pocos de entre los más destacados.

4. Grabe en un magnetófono una clase que esté desarrollando, y realice posteriormente un análisis de los procesos de interacción verbal profesor-alumnos que hayan tenido lugar. En este análisis conviene centrar la atención sobre los siguientes aspectos:

- Participación suficiente de los alumnos.
- Participación equilibrada de los mismos (que no partici-

pen solamente unos pocos, o que lo hagan «los de siempre»).

- Tipo de preguntas y cuestiones planteadas en la clase (conviene que no se centren en aspectos memorísticos, sino más bien que susciten una participación discursiva).
- Modo de plantear las preguntas (es más fecundo dirigirse a toda la clase y no a un alumno concreto, con objeto de suscitar la atención y la participación de todos).
- Modo de solicitar las intervenciones (no conviene dejar que conteste la clase a coro: solicite respuestas individuales y dosifique las solicitudes de tal manera que se logre un adecuado equilibrio de participación).

En el caso de que se desarrolle la actividad de la clase en torno a un trabajo en grupos, analice el tipo de interacciones y de participaciones que tienen lugar en cada equipo de alumnos. Estudie con detalle los posibles obstáculos que se opongan a una eficacia discursiva en los grupos y a un aprendizaje efectivo.

5. Diseñe algunos ítems o cuestiones de tipo abierto o divergente, que pongan de manifiesto la capacidad de un razonamiento creativo por parte de los alumnos (en relación con la estructura de los ítems, véase el capítulo 10).

6. Realice un análisis estructural de varios tipos de problemas complejos que consideraría adecuados para la formación de los alumnos. Localice los subniveles conceptuales, metodológicos y de cálculo que se deben dominar previamente, y averigüe el grado de dominio de los mismos por parte de los escolares. Estimule el razonamiento discursivo de la clase mediante pistas, pero procurando evitar que se «aprendan» soluciones y modos estereotipados de resolución. Favorezca los enfoques originales y creativos, y no critique con facilidad los errores y los procedimientos desencaminados.

REFERENCIAS

- (1) KOERTGE, N. «Toward an Integration of Content and Method in the Science Curriculum», en *Curriculum Theory Network*, Núm. 4, pp. 26-42, 1970.
- (2) Mc DONALD, F. *Psicología de la Educación*, Ed. Marfil, Alcoy, 1970, pp. 237-250.
- (3) KNOLL, Karl. *Didáctica de la Física*, Ed. Kapelusz, Buenos Aires, 1974, pp. 129-162.
- (4) SHULMAN, L. S.; TAMIR, P. «Research on Teaching in the Natural Sciences», en el *Second Handbook of Research on Teaching* (editado por A. Travers), Rand Mc Nally, 1973 (pp. 1098-1148).
- (5) Cf., por ejemplo, CARIN, A. A.; SUND, R. B. *La enseñanza de las ciencias por el descubrimiento*, 1.ª Ed., UTEHA, Méjico, 1967; KUSLAN, L.; STONE, A. H.: *Teaching Children Science: An Inquiry Approach*, Wadsworth, Belmont, California, 1968; WASHTON, N. S.: *Teaching Science Creatively in the Secondary Schools*, Saunders, Philadelphia, 1967.
- (6) Cf. ATKIN, J. M.; KARPLUS, R. «Discovery or Invention?», en *The Science Teacher*, 29 (5), pp. 45-51, 1962. Cf. también: KARPLUS, R.; THIER, H. D. *A New Look at Elementary School Science*, Rand McNally, Chicago, 1967.
- (7) GUILFORD, J. P. «Creativity», en *American Psychology*, Vol. 5, pp. 444-454, 1950.
- (8) MEDNICK, S. A. «The Associative Basis of the Creative Process», en *Psychological Review*, Vol. 69, Núm. 3, 1962.
- (9) ROE, Ann. «A Psychological Study of Eminent Psychologists and Anthropologists, and a Comparison with Biological and Physical Scientists», en *Psychological Monographs*, 62 (2), 1952.
- (10) KOESTLER, A. *The Act of Creation*, Hutchinson, Londres, 1964.
- (11) MILLER, J. S. «Matters of Importance in the Teaching of Physics», en *Teaching Physics Today*, O.C.D.E., Paris, 1965 (pp. 47-70).
- (12) GAGNE, R. M. *The Conditions of Learning*, 2.ª Ed., Holt, Rinehart and Winston, 1970, pp. 214-236.
- (13) *Ibid.*, pp. 262-263.
- (14) HILTON, A. C.; HILTON, D. A. *Projects in Biology*, B. T. Batsford, Londres, 1966.
- (15) BELHAM, N.D.N. *Projects in Physics*, B.T. Batsford, Londres, 1966.
- (16) HAYES, M. *Projects in Chemistry*, B.T. Batsford, Londres, 1967.

BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTARIA

- EDUCACION SANTILLANA. *Programa Paralelo de Creatividad*, Ed. Santillana, Madrid, 1973.
- FISCH, A. S.; GOLDMARK, B. «Inquiry Method: Three Interpretations», en *Readings in Science Education for the Secondary School* (Hans O. Andersen, ed.), The McMillan Co., Nueva York, 1969.
- PROJECTS IN PHYSICS SERIES. Colección de manuales de 70-80 páginas, que recogen proyectos de trabajo escolar en las áreas de la Física y de la Tecnología. Van dirigidos a alumnos de 13-16 años de edad. Están editados por Ed. Wheaton. Exeter, 1975.
- SCHWAB, J.; BRANDWEIN, P. F. *The Teaching of Science*, Harvard Univ. Press, 1962. Este librito se ha hecho ya un clásico en el mundo de la enseñanza científica. Algunos de los aspectos discutidos en el actual capítulo son también abordados en diferentes lugares del mismo.
- SHULMAN, L. S.; KEISLER, E. R. *Aprendizaje por el descubrimiento*. Ed. Trillas, Méjico, 1974 (ed. original por Rand McNally, en 1966).
- STRIKE, S. A. «The Logic of Learning by Discovery», en *Review of Educational Research*, Vol. 45, Núm. 3, pp. 461-483, 1975.
- STEBBENS, D. *Chemistry by Inquiry*, Heineman Educational (Texto: 1969, Guía del Profesor: 1970). Es un libro de texto para el aprendizaje de la Química a partir de una serie de cuestiones y de problemas que fomentan la participación discursiva de los alumnos.
- TAYLOR, C. W.; BARRON, F. (ed.) *Scientific Creativity: Its Recognition and Development*, Wiley, Nueva York, 1963. Se incluyen en este libro las conferencias pronunciadas en el congreso sobre la Creatividad Científica celebrado en Utah.
- VIDAL, F. *Problem-Solving: méthodologie général de la créativité*, Ed. UNOD, Paris, 1971.

VII. MATERIAL DIDACTICO Y LABORATORIO ESCOLAR

VII.1. ASPECTOS GENERALES

El material didáctico que puede utilizarse en la enseñanza de las ciencias es de gran variedad. En líneas generales, la mayor parte de la clasificación de medios docentes realizada por Dale (1) puede ser transferida al campo de las ciencias. Distingue este autor entre los siguientes aspectos:

1.º Medios y procedimientos poco simbólicos o codificados, que conllevan una participación directa del alumno. Se incluyen aquí las *actividades de tipo directo* (con objetos y materiales reales) y las *actividades reconstruidas* (con modelos, maquetas y materiales desmontables).

2.º *Observación directa*; por ejemplo, en las demostraciones del profesor en clase, en excursiones y trabajos de campo, en itinerarios geológicos, en visitas a fábricas y museos, etc.

3.º *Medios audiovisuales*, que suponen un mayor grado de codificación de la información; por ejemplo: diapositivas, películas, murales, láminas y fotografías, etc.

4.º *Medios simbólicos*, del tipo de los libros de texto, ecuaciones y representaciones gráficas, diagramas y esquemas.

Como es fácil apreciar, al desplazarse el centro de la actividad didáctica desde el primer nivel hasta el cuarto, aumenta el grado de simbolismo o de codificación de los componentes materiales de la clase. Si se trata de explicar Anatomía, pongamos por caso, es posible hacer énfasis en alguno de los siguientes niveles de actuación:

- Disección de animales (actividad directa).
- Montaje y desmontaje de maquetas o modelos de organismos animales (actividad reconstruida).
- Observación de animales en libertad o en cautividad (observación directa).
- Observación de las demostraciones del profesor en torno a los procesos de disección (observación directa).
- Observación y estudio de películas o diapositivas centradas en la anatomía de determinadas especies animales (medios audiovisuales).
- Estudio o consulta del libro de texto en relación con determinados aspectos de la Anatomía (medios simbólicos).
- Análisis de gráficos, esquemas o dibujos anatómicos (medios audiovisuales-medios simbólicos).

Uno de los objetivos fundamentales del proceso educativo, como se ha dicho en numerosas ocasiones, es el desarrollo intelectual del alumno, y el de sus mecanismos de interpretación del medio ambiente; todo esto comporta un conjunto de conocimientos y de generalizaciones en relación con hechos y realidades concretas. El acendrado y riguroso mundo conceptual de las ciencias supone la construcción de un conjunto de modelos y teorías que den sentido a una gran variedad de hechos aislados y observaciones experimentales (aspecto nomológico de la ciencia: véase el capítulo 2.º).

En el capítulo anterior, al analizar la metodología inductivo-deductiva, aludimos a las fecundas posibilidades de los enfoques heurísticos, con los cuales se pretende que *los propios alumnos* relacionen hechos y conceptos y que construyan conjuntos personales de esquemas interpretativos. El «aprendizaje por el descubrimiento» puede discurrir tanto por las vías inductivas como por las deductivas, siguiendo de esta manera los caminos propios de la ciencia. Un «descubrimiento» inductivo comportaría procesos de generalización por parte del alumno, a partir de observaciones y de hechos concretos. Un «descubrimiento» de tipo deductivo supondría, por otra parte,

el desarrollo de conceptos y modelos, a partir de conceptos y modelos previamente conocidos.

Una vez que el alumno (por los cauces de aprendizaje que sean) se ha fraguado un mundo conceptual de suficiente consistencia, es factible polarizar la atención hacia los enfoques deductivos, los cuales suelen ser más económicos en lo que se refiere al tiempo y al material didáctico. *Pero no antes*. Ya aludimos en el capítulo anterior al frecuente peligro de simbolizar y formalizar en exceso la enseñanza de las ciencias, sin una adecuada comprensión y asimilación previa de los contenidos básicos sobre los que se apoyan los componentes conceptuales de orden superior.

En el desarrollo de un mundo conceptual básico juegan un papel esencial todos los medios didácticos menos simbólicos (experiencias directas y reconstruidas, observaciones directas, audiovisuales), los cuales componen la escala fundamental por la que es necesario ascender para remontarse a los niveles más simbólicos o de superior abstracción. Los conceptos de esta forma construidos y asimilados pueden expresarse mediante un rico conjunto de *símbolos y esquemas* (pensemos, por ejemplo, en la simbología utilizada en la Física y la Química, y en los gráficos y esquemas que se utilizan con profusión en la Biología y la Geología). La ventaja de este universo simbólico radica en la manipulación que es factible hacer, en los procedimientos deductivos, de forma totalmente mental. Así, es posible resolver gran cantidad de problemas de orden científico y tecnológico manipulando convenientemente los símbolos que representan conceptos y entidades de estructura cuantitativa (magnitudes escolares, vectoriales y tensoriales). Esta simbolización constituye uno de los resortes más vivos del avance científico, el cual se ha enriquecido de forma notable con las herramientas aportadas por la Matemática (ver el capítulo 4.º).

A lo largo de los siguientes apartados analizaremos con más detalle los distintos niveles de simbolización, dentro de la estructura de los medios didácticos desarrollada por Dale.

VII.2. LIBROS Y MATERIAL DE LECTURA

El papel que tradicionalmente han jugado los libros de texto, en la enseñanza de las ciencias, se ha visto drásticamente alterado en los últimos años. Este cambio es superponible a las modificaciones generales que han tenido lugar en el campo de la Didáctica.

En el capítulo 12.^o, al analizarse algunos de los proyectos y programas de enseñanza científica desarrollados desde la década de los 50, se bosquejan los contenidos temáticos así como la estructura, de gran variedad de cursos. Adelantándonos a dicho capítulo, vamos a precisar seguidamente algunas de las características más sobresalientes de los nuevos enfoques seguidos en el desarrollo de libros de texto.

En primer lugar, se aprecia una fuerte reducción de contenidos, pasándose de los tratados exhaustivos y descriptivos, tocando muchos temas o tópicos, a libros más intensamente analíticos y centrados en unos pocos temas. Así, un análisis detallado de los proyectos PSSC, CHEM y CBA nos pone de manifiesto una articulación y desarrollo en torno a unos pocos *esquemas conceptuales* (ver el capítulo 9.^o), ejes o pivotes alrededor de los cuales gira toda la estructura de los cursos.

La reducción de contenidos posibilita un nuevo enfoque en el diseño de los libros de texto, que consideramos del máximo interés. Se dirige este enfoque hacia estructuras más dinámicas y discursivas, en contraposición al papel expositivo y dogmático que ha asumido tradicionalmente el texto escolar. El lector deja de ser un sujeto receptivo, que se limita a adquirir y asimilar información y contenidos: pasa a ser, más bien, un *sujeto activo* en el proceso de aprendizaje, al enfrentarse con multitud de reflexiones, relaciones, problemas y cuestiones de tipo discursivo.

Los libros de texto, de esta manera, vienen a adoptar un papel muy similar al de los demás medios didácticos: se transforman en *medios para fomentar la participación y la acción intelectual*, y no en instrumentos forjadores de posiciones pasivas y receptoras. Esta cualidad la reflejaremos de nuevo en otros lugares de este capítulo, dado que cualquier medio o

instrumento didáctico puede ser utilizado de maneras muy distintas, de acuerdo con las diferentes posturas adoptadas por el profesor (posturas dogmáticas, abiertas, expositivas o discursivas, etc.).

Los nuevos proyectos didácticos ingleses han ido mucho más lejos, llegándose incluso a suprimir la existencia de los *libros de texto* en un sentido estricto. Así, por ejemplo, los cursos de Física Ordinaria y Física Avanzada de la Nuffield Foundation (véase el capítulo 12.º) constan de una serie de unidades didácticas o libritos destinados al alumno, en los cuales se incluyen fundamentalmente cuestiones y dilemas a los cuales se ha de buscar respuesta adecuada; para ello se dispone de la ayuda del profesor y de una serie de libros de lectura complementarios. El curso de Química Básica de la Nuffield está estructurado en torno a una serie de experiencias de laboratorio, las cuales se incluyen en los libros del alumno, así como a una serie de preguntas y reflexiones que llevan a los escolares a la *inducción e inferencia* de leyes, principios y teorías interpretativas. La mayoría de los proyectos ingleses han desarrollado una gran variedad de *libros de lectura y de consulta*, en los cuales se tocan aspectos monográficos de interés para la aplicación y el estudio individual, abriendo camino de esta manera a las aspiraciones concretas y particulares de los diferentes alumnos.

Tanto en los proyectos norteamericanos como en los ingleses, destinados a los niveles elementales y secundarios, se han elaborado *libros para el profesor y libros experimentales y de laboratorio* de gran calidad. El objetivo de estos libros es la formación del profesorado en la metodología concreta a utilizar, así como dar cuenta de la estructura del curso para evitar desfases entre los distintos componentes conceptuales y metodológicos. Dado que la ciencia ha evolucionado de forma explosiva a lo largo del siglo actual, y dado también que las metodologías científicas y didácticas se han dirigido hacia nuevos derroteros, ha sido necesario acompañar el desarrollo de los nuevos proyectos didácticos con una conveniente formación del profesorado (en gran parte de los casos desfasado o no adecuadamente especializado en algunas de las áreas de su

enseñanza). El viejo lema «cada maestro con su librito» se ha superado en gran medida en los países más adelantados, por lo menos en las áreas científicas, al colaborar en el desarrollo de los nuevos cursos y libros equipos especializados de profesores, expertos, pedagogos y psicólogos.

Se argumentará, con toda probabilidad, que éste no es el mejor medio para dar cabida a la libre iniciativa y la creatividad de cada profesor. Los nuevos cursos, sin embargo, son más *orientativos e ilustrativos* que prescriptivos, y el profesorado tiene asignadas grandes zonas de acción individual y personal, en lo que se refiere a los contenidos, los métodos y la secuenciación de los temas. Los *libros del profesor*, normalmente, van dirigidos a potenciar esta acción personal, y no a fomentar posturas docentes prefijadas y estereotipadas. No podría ser de otra manera, dado el carácter abierto, discursivo, antidogmático y procesal de la nueva metodología didáctica de las ciencias.

Owen (2) ha propuesto algunos criterios de validez para seleccionar libros científicos de texto. Dado que la enseñanza de las ciencias en España no ha alcanzado el nivel de los proyectos didácticos desarrollados en los países anglosajones (vid. el capítulo 12.^o), consideramos de interés reflejar algunos de los criterios de Owen:

1. Análisis de los puntos de vista del autor, reflejados en el prólogo y en diferentes lugares.

2. Adaptabilidad de los contenidos a los objetivos de cursos previstos.

3. Valor como instrumento de enseñanza-aprendizaje (análisis de la organización del material, de las actividades propuestas, de los medios didácticos, y de la bibliografía sugerida).

4. Grado en que el libro incorpora elementos del pensamiento crítico.

5. Análisis epistemológico de las leyes, teoremas, generalizaciones y modelos presentados. Ver si el libro ofrece argumentos experimentales, inductivo-deductivos e históricos que avalen y den sentido a todas sus estructuras conceptuales.

6. Grado de interés del libro para los estudiantes (analizar las reacciones de los alumnos ante su utilización).

7. *Fluidez de expresión y sencillez de lectura* (analizar las dificultades de comprensión del texto por parte de los alumnos).

8. Valor de las ilustraciones como elementos de refuerzo del aprendizaje.

9. Grado de actualidad de las materias y los temas incluidos.

10. Modos de tratar los temas más difíciles o controvertidos. Es en estos temas donde mejor se pone de manifiesto la habilidad didáctica del escritor o los escritores del libro.

Nosotros consideraríamos conveniente añadir otras dos cualidades adicionales:

11. Inclusión de sugerencias metodológicas y de trabajo intelectual, dirigidas al profesor y a los alumnos (en el mismo texto, o en libros adicionales dirigidos al profesorado).

12. Validez del material incluido. En numerosas investigaciones se ha puesto de manifiesto que abundan los libros de texto escritos por profesores con una formación deficiente, lo que supone la inserción de errores conceptuales de gran calibre. Dado que debería existir una calidad global, tanto en lo que se refiere a los contenidos como a la metodología didáctica reflejada en el libro, es importante tomar en consideración este último punto.

VII.3. MODELOS Y ANALOGIAS

Se ha dicho con mucha frecuencia que una de las bases del éxito docente radicaría en «saber relacionar suficientemente los conceptos y contenidos abstractos con la realidad concreta». Ya antes aludimos a que el desarrollo de un mundo conceptual rico y fecundo requiere la ascensión de algunas de las escalas de la estructura de Dale, de tal manera que los conceptos estén adecuadamente anclados en una vivencia observacional o experimental previa. De otra forma, se puede caer en la trampa de un excesivo formalismo y simbolismo, que no discu-

rra parejo con una suficiente asimilación conceptual por parte de los alumnos.

En esta línea se mueve la frecuente utilización didáctica de modelos y analogías, a través de los cuales se pretende relacionar los aspectos nuevos o abstractos con estructuras más simples y familiares para el alumno (3). Incluso se puede hablar de un *razonamiento por analogía*, que ha jugado un papel decisivo en el avance de las ciencias. Algunos ejemplos bastarán para confirmar la validez de esto último (4):

- Maxwell utilizó imágenes y analogías hidrodinámicas en el estudio de los fenómenos electromagnéticos.
- Ohm razonó con frecuencia, al interpretar los fenómenos de conducción eléctrica, haciendo uso de símiles tomados de la conducción del calor o de los fluidos (gases y líquidos).
- Coulomb, al estudiar los problemas de la atracción y repulsión de cargas eléctricas, solía utilizar analogías extraídas de las leyes de Newton de atracción entre masas gravitatorias.
- Van't Hoff introdujo analogías con las propiedades de los gases, para interpretar las propiedades osmóticas de las disoluciones.
- Schrödinger construyó modelos atómicos utilizando para ello los modelos mecánicos y ópticos.
- Los primeros modelos atómicos solían ser una imagen reducida de los modelos planetarios (representación visual-táctil de los procesos microscópicos).
- Hoy en día, se suele interpretar fenómenos y procesos de orden psicobiológico utilizando analogías con redes y circuitos eléctricos y electrónicos.

También en el plano didáctico los modelos, los símiles y las analogías pueden resultar del máximo interés. Especialmente con los alumnos más jóvenes (enseñanza elemental), o bien con los que tienen menos capacidad de abstracción, los apoyos visuales y concretos pueden ser fundamentales para la asimilación de conceptos abstractos. Así, algunas analogías de

las referidas anteriormente (de Coulomb, Maxwell, etc.) se utilizan con frecuencia incluso hoy en día en el quehacer docente. Muchas de estas analogías se han plasmado en modelos (*modelos analógicos*), los cuales se fabrican y distribuyen comercialmente. Ejemplos:

- Circuitos de agua para explicar la ley de Ohm (el flujo simula la intensidad, las bombas de agua las baterías o pilas y la sección del tubo la resistencia).
- Modelos espaciales para explicar los enlaces químicos y la estereoquímica (estos modelos pueden ser montados por el propio profesor, o por los alumnos, mediante esquemas de gran variedad).
- Modelos de flujo para explicar la circulación sanguínea.
- Cubetas de ondas para el estudio de los fenómenos de interferencia y difracción.

Es importante distinguir entre los *modelos simbólicos*, que simbolizan una realidad abstracta u oculta (los modelos hidrodinámicos y espaciales, por ejemplo), y los *modelos a escala*, en los cuales se amplían o reducen las dimensiones naturales de una estructura o de un proceso, con finalidades didácticas. Ejemplos de estos últimos:

- Maquetas geológicas, para el estudio de la estratigrafía, la geotectónica, etc.
- Planetarios, para el estudio de la astronomía.
- Maquetas desmontables de animales y vegetales (estudio de anatomía).
- Modelos reducidos de plantas industriales (en el caso de la química industrial).
- Maquetas de motores y frigoríficos, en el estudio de la termodinámica.

Tanto en el caso de los modelos simbólicos, como en el de los modelos a escala, conviene hacer reflexionar a los alumnos sobre el *carácter representativo* de los mismos. De otra manera, se falsearía el proceso de aprendizaje, y se lograrían resul-

tados nada deseables. En el caso de los modelos atómicos y moleculares, por ejemplo, es fundamental que no se dé un carácter existencial a las formas, a las dimensiones y a las estructuras representadas, sino que se debe ayudar al alumno a reflexionar sobre la naturaleza simplificada e idealizada de las mismas. Además, dada la naturaleza estadística de los modelos teóricos actuales, se puede contribuir involuntariamente a desarrollar una conceptualización desfasada respecto a las modernas interpretaciones. Con el uso de los modelos de moléculas orgánicas, por ejemplo, corremos también el riesgo de transmitir una *imagen estática*, cuando la realidad es dinámica y las moléculas están cambiando constantemente de forma y de posición. Es importante reflexionar sobre todo lo anterior, si queremos extraer el máximo jugo didáctico a los modelos analógicos, y no transmitir imágenes distorsionadas que en nada contribuirían a una buena formación del alumno.

En el caso de los *modelos a escala*, la mayor virtud de éstos corre el riesgo de ser también su mayor defecto: la falsificación de las *dimensiones naturales* y la *simplificación de una realidad más compleja*. Tanto la ampliación de dimensiones (por ejemplo, en las maquetas desmontables de insectos y flores), como la reducción (caso de las maquetas geológicas y los planetarios) facilitan el estudio en el aula de una serie de aspectos que, de otra forma, serían difíciles de asimilar convenientemente. Pero es importante, en ambos casos, hacer conscientes a los alumnos de las simplificaciones y falsificaciones didácticas existentes. El estudio de estructuras de pequeñas dimensiones puede hacerse también con diferentes *instrumentos científicos* (microscopios, binoculares, microscopios de proyección), en el análisis de los cuales no vamos a entrar en este capítulo.

VII.4. MATERIAL AUDIOVISUAL (5)

Así como los modelos y maquetas antes analizados suponen una representación tridimensional de una realidad compleja, existe una serie de materiales didácticos que facilitan la representación bidimensional de la misma. En un sentido amplio,

los modelos y maquetas podrían ser incluidos dentro del campo de los *medios audiovisuales* (dado que comportan un tipo de visualización), pero es preferible reservar para este apartado los siguientes recursos y medios docentes:

- Láminas y murales.
- Fotografías.
- Diapositivas y filminas.
- Películas didácticas y científicas.

Nadie pone en duda el gran valor formativo de los modernos medios de comunicación social. Hoy en día, gracias a la televisión y al cinematógrafo, la mayor parte de las personas adquieren considerables dosis de información, en torno a una variedad inacabada de áreas (aspectos políticos, históricos, geográficos, científicos, tecnológicos...). Se trata, sin embargo, de una información *no estructurada ni sistematizada*, a diferencia de la adquirida en las aulas y los centros educativos. Considerados como recursos didácticos, el profesor puede sacar partido de gran parte de estos medios, en concreto de los reseñados más arriba.

Lo mismo que en el caso de los modelos tridimensionales, es fundamental hacer ver al alumno cuáles son las estructuras y las dimensiones reales de los elementos representados, así como el carácter representativo de los mismos (caso de fotografías, esquemas o diapositivas de modelos del enlace químico, por ejemplo). Por otra parte, se ha achacado al material audiovisual su frecuente absorción de la actividad de clase, de tal manera que el alumno se transforma en un mero receptor de información. Conviene tener en cuenta esto último, y procurar que los medios didácticos, del tipo que sean, no interrumpan la normal participación en el proceso de enseñanza-aprendizaje. En relación con este último punto, es importante anotar alguna de las siguientes observaciones:

— En el caso de diapositivas y láminas (imágenes fijas) son más eficaces los *enfoques discursivos* (que suponen un intercambio de impresiones y de cuestiones por parte del profesor y los alumnos) que los enfoques expositivos. Se ha demostrado

experimentalmente que, con el primer tipo de enfoques, se logra una mejor asimilación y una mayor persistencia en el aprendizaje.

— En el caso de utilizar alguna película sonora sobre temas científicos, conviene hacer reflexionar previamente a los escolares sobre el significado de lo que van a ver; en este sentido, es de interés *plantear cuestionarios* con los temas o aspectos que se vayan a discutir posteriormente a la proyección. Con este enfoque se estimula fuertemente la atención sobre los factores más sobresalientes, y que más interesa destacar.

— Desde hace algunos años se han desarrollado interesantes colecciones, en el área científica, de *películas monoconceptuales*, cortas en duración, normalmente mudas, y centradas en algún tema específico (por ejemplo: el desarrollo embrionario, la formación de remolinos en el estudio de la hidrodinámica, los mecanismos de reacción, etc.). Al no existir una banda sonora, es muy superior la posibilidad de intervención del profesor y de los alumnos, *en el mismo momento de la proyección*; las películas sonoras, por contraste, suponen una mayor pasividad del receptor.

El cinematógrafo tiene la ventaja capital, en relación con los medios de proyección fija (como son las diapositivas y las filminas), de la manipulación del *factor tiempo*. Es posible, de esta manera, estudiar con detalle *procesos* que no serían fácilmente apreciables a simple vista. El crecimiento de una planta, pongamos por caso, puede analizarse con una película filmada con la técnica de «foto a foto». El vuelo del colibrí, con una película tomada a gran velocidad y proyectada a velocidad normal. Se añade así un nuevo factor a los aspectos espaciales, que son los únicos manipulables con los modelos, las maquetas y los medios de proyección de vistas fijas.

Dado que las teorías, los modelos y las interpretaciones científicas conllevan procesos de generalización en torno a hechos y fenómenos del mundo natural, el disponer de películas científicas adecuadas posibilita el estudio de la *fenomenología* sobre la que se apoyan determinados esquemas conceptuales. Además, existen procesos de orden industrial y experimental, demasiado complejos, costosos o peligrosos para realizar

en el aula o el laboratorio, que pueden estudiarse perfectamente con películas científicas. La técnica de *dibujos animados*, finalmente, hace posible la visualización y análisis de procesos de orden simbólico, microscópico o macroscópico; por ejemplo: estudio de mecanismos de reacción en química, de la dinámica de los gases, del movimiento de los planetas, de la mitosis en el estudio de la citología, etc.

Se ha solido referir a los medios audiovisuales como a *métodos de aprendizaje vicariantes*, dado que no suponen una percepción directa de la realidad, sino una percepción diferida (a través de un documento o «vicario», en el cual se encuentra codificada la información). La mayor parte de los modernos cursos y proyectos para la enseñanza de las ciencias hacen uso abundante de películas y de recursos audiovisuales, lo cual es un índice de su creciente importancia en el mundo de la didáctica (respecto a los nuevos proyectos anglosajones, véase el capítulo 12.º).

VII.5. DEMOSTRACIONES Y TRABAJO DE LABORATORIO

Las clases de tipo «magistral» en la enseñanza científica pueden enriquecerse apreciablemente mediante la realización de *demonstraciones y experimentos* por parte del profesor. Los objetivos de estas demostraciones pueden ser de muy diversos tipos:

- Motivar adecuadamente a los alumnos; por ejemplo, mediante la realización de algún experimento «chocante», o que contradice algunas expectativas simplistas.
- Reforzar el proceso del aprendizaje en determinados aspectos; como es bien sabido, cuantos más sentidos estén implicados en dicho proceso, mayor es el aprendizaje y la retención.
- Relacionar determinados aspectos abstractos o teóricos con la fenomenología y las realidades concretas.
- Provocar un razonamiento de tipo inductivo-deductivo

en los alumnos: bien procediendo desde los ejemplos a las generalizaciones, o desde las generalizaciones a los hechos concretos.

- Enriquecer el proceso didáctico, que puede de esta manera remontarse desde el cerrado esquema del «libro de texto».

Conviene hacer reflexionar sobre algunos ángulos didácticos de las demostraciones, que no siempre se tienen en cuenta de forma suficiente. En primer lugar, es importante no crear un ambiente pasivo y receptivo, sino participativo y discursivo (algo semejante planteamos en el caso de los medios audiovisuales). Lo más importante, ha dicho Miller (6), radica en el *tipo de cuestiones y razonamientos* a que pueden dar lugar las demostraciones y experiencias de aula: «Una demostración realizada de forma superficial y anecdótica es una pérdida de tiempo; cada demostración, por trivial que pueda aparecer, posee profundidad, y se debe extraer de la misma hasta el último ápice de aprendizaje y de razonamientos científicos.» Algunas sugerencias metodológicas, en relación con este punto, pueden ser:

- Importancia de la visibilidad del material experimental; dentro del conjunto de materiales didácticos, se han diseñado aparatos o instrumentos de observación y medida de grandes dimensiones, facilitándose de esta manera la visibilidad por todos los alumnos de la clase.
- El profesor debe aclarar convenientemente la naturaleza del material utilizado, los pasos que se van a realizar y el sentido de los fenómenos y procesos observados.
- Las operaciones deben realizarse con «drama y suspense».
- Conviene «dramatizar» los resultados inesperados.
- Es importante planificar y prever con suficiente anticipación el tipo de pasos a seguir, y las preguntas y cuestiones que se van a plantear en clase (razonamiento discursivo de los alumnos).
- Conviene asegurarse que el experimento o la demostra-

ción va a «funcionar» correctamente. En el caso contrario, se puede sacar partido didáctico del «fracaso» haciendo reflexionar a la clase sobre las posibles causas del mismo.

Generalmente, no es necesario disponer de material costoso o delicado para realizar gran número de demostraciones experimentales de calidad pedagógica. En gran medida, recae sobre la habilidad docente del profesor el valor formativo o ilustrativo de las demostraciones, puesto que a él compete plantear cuestiones adecuadas, y conducir el razonamiento de los alumnos por los mejores derroteros. En el caso de la enseñanza de ciertas áreas, como es la Mecánica, con objetos y materiales muy simples y de uso diario se pueden ilustrar gran variedad de aspectos teóricos (véase el capítulo 3.º, en lo que se refiere a la educación tecnológica).

En *trabajo de laboratorio* supone una participación más directa de los alumnos en el proceso de aprendizaje. En este sentido, se entronca en una amplia gama de *actividades* de tipo directo y reconstruido (por ejemplo: recolección y clasificación de muestras minerales y vegetales, disección de especies animales, cuidado de herbarios y terrarios, montaje de circuitos eléctricos de radiofonía, etc.); parte de estas actividades se pueden englobar dentro del llamado «método de proyectos» (capítulo 6.º), y no vamos a analizarlas aquí. También existen *actividades* desarrolladas fuera del recinto escolar, como son las excursiones, las visitas a fábricas y centros experimentales, etc., de gran interés para la enseñanza científica, el análisis detallado de las cuales nos ocuparía más espacio del destinado a este capítulo.

En los tratados clásicos de didáctica de las ciencias se ha solido diferenciar entre el llamado *laboratorio de comprobación* y el *laboratorio de indagación o investigación* (7). En el primero de dichos enfoques, los alumnos se enfrentan con trabajos o proyectos normalmente estereotipados, dirigidos y orientados por los llamados guiones de prácticas, y que conducen a la observación de fenómenos y la comprobación de

aspectos previamente estudiados en clase. Los objetivos didácticos de este enfoque son de varios tipos:

- Desarrollo de destrezas de laboratorio: observación, calibración, ajuste, medida, tabulación de datos, etc.
- Comprobación experimental de leyes y generalizaciones previamente analizadas en clase.
- Desarrollo de hábitos de trabajo en equipo (colaboración con los compañeros, desempeño de funciones dentro del grupo).

— *Desarrollo de hábitos de orden, limpieza, meticulosidad y precisión.*

A lo largo de los últimos años se ha ido enfocando la atención de los especialistas en el mundo educativo sobre un nuevo rol o papel del laboratorio escolar: el que antes denominamos «laboratorio de investigación». Los últimos proyectos anglosajones, que analizamos en el capítulo 12.º, se han movido en este sentido, al enfrentar al alumno con pequeños *proyectos de investigación*, que comportan un análisis previo, un diseño de operaciones, y una generalización posterior a partir del conjunto de datos obtenidos en las observaciones realizadas. Los métodos en las zonas de indagación son el resultado del juego conjunto de los dos tipos de procesos analizados en el capítulo anterior:

— *Procesos de índole inductiva*; estos son los preferidos en los proyectos ingleses de nivel ordinario o básico, en los cuales se busca la obtención de conclusiones e interpretaciones a partir de datos concretos.

— *Procesos de tipo deductivo*, que conllevan la realización de experiencias para poner de manifiesto el grado de validez de modelos e interpretaciones previamente estudiados. Debe quedar bien claro que estos modelos son propuestos por los propios alumnos, con ayuda del profesor, mientras que en el caso del laboratorio de comprobación se estudian más bien de forma apriorística, y se «comprueba» su grado de validez mediante procedimientos que *no han sido diseñados por los alumnos*.

En resumidas cuentas, con los enfoques indagatorios se pretende que los alumnos desarrollen destrezas y operaciones mentales del tipo de las puestas en juego por un científico experimentalista. Los enfoques comprobatorios, dado su carácter más dirigido y presecuenciado, se alejan bastante del campo de operatividad de un científico creativo. Schwab (7), en relación con este punto, ha planteado la existencia de tres niveles de apertura y no directividad en el proceso indagatorio:

- En el nivel más simple, se formulan problemas y se describen medios y procedimientos, a través de los cuales los alumnos pueden llegar a descubrir relaciones no conocidas previamente.
- En un segundo nivel, se formulan problemas, pero los métodos y las respuestas se dejan abiertos.
- En un tercer nivel, se dejan abiertos tanto los problemas y las cuestiones como los medios y los métodos. Así, si se muestra un péndulo a los alumnos, a ellos corresponderá plantearse cuestiones acerca de su comportamiento bajo las fuerzas gravitatorias, y el diseño de enfoques experimentales para buscar respuesta a dichas cuestiones.

En el primer nivel de indagación pueden resultar de utilidad las llamadas *fichas-guía*, que elabora el profesor con objeto de aportar una preparación inicial al problema que se va a resolver. También son prácticas las *fichas de investigación*, que describen el material a utilizar y las formas de trabajo con el mismo (8). Estas fichas, de igual manera que los tradicionales guiones de laboratorio, facilitan el trabajo individual y en grupo de los alumnos, especialmente en el caso de clases numerosas.

Las experiencias libres, del tercer nivel, son las preferidas en el proyecto Elementary Science Study (ver el capítulo 12.^o). Desde nuestro punto de vista, consideramos en cierta medida utópico pretender desarrollar el aprendizaje científico en torno a procesos de pura indagación. Como ya hicimos ver anteriormente, la riqueza conceptual y estructural de la ciencia difícil-

mente puede llegar a ser asimilada por el alumno medio, si a él correspondiese elaborarla partiendo de cero. Somos decididos defensores de una *participación activa* del alumno en el proceso del aprendizaje, incluso en la invención y descubrimiento de conceptos y modelos, pero con la ayuda y guía del profesor, apoyándose sobre esquemas conceptuales previos y no de forma totalmente abierta y no organizada. Además, algunos estudios, como el correspondiente al Proyecto de Evaluación Internacional de las Ciencias (9), han demostrado que la utilización no sistematizada del laboratorio escolar no supone ninguna ventaja *medible* sobre otros enfoques didácticos más dirigidos (o, por lo menos, los instrumentos de evaluación utilizados en este proyecto no la han puesto de manifiesto).

Shulman y Tamir (10), sin embargo, han aceptado con reservas los tipos de resultados obtenidos por proyectos y estudios como el anteriormente citado. Si, por ejemplo, se comparan dos clases en las cuales se han utilizado metodologías didácticas diferentes, y no se hace uso de sistemas de evaluación sensibles y completos, con dificultad se detectarán diferencias significativas a favor de una de las dos metodologías. Es muy probable, por ejemplo, que los enfoques experimentales abiertos contribuyan a desarrollar parte del potencial creativo de los alumnos; los enfoques estructurados y bien programados, por contraste, incidirán sobre algunos de los resortes de la conceptualización y del aprendizaje. Si, al finalizar un estudio comparativo, se evalúan ambos tipos de procedimientos con tests clásicos de conocimientos y de razonamiento científico, no es probable que se localice ningún tipo de superioridad didáctica por parte de uno de ellos. El camino a recorrer, en relación con la eficacia relativa de distintas metodologías aplicadas a determinados alumnos, es muy largo todavía.

En nuestra opinión, es al profesor a quien compete sacar el máximo provecho formativo del laboratorio escolar. Un docente que tenga ideas coherentes en torno a la riqueza formativa de distintos enfoques metodológicos, con toda probabilidad obtendrá resultados valiosos y fecundos. Por contraste, el profesor que programa experimentos y clases prácticas de laboratorio «porque es necesario utilizar el material», sin ver claro a

dónde quiere llegar ni qué objetivos concretos pretende conseguir, no alcanzará ninguna meta nítidamente definida. Además, se corre el riesgo de aburrir a los alumnos, que se verán forzados a permanecer largos periodos encerrados, tomando medidas o escribiendo informes y guiones, sin apreciar con claridad la finalidad de todo ello.

Desearíamos también hacer consciente al lector de que el laboratorio escolar no tiene por qué ser necesariamente la panacea de la enseñanza científica. Lo será, parcialmente, si se entronca de forma fecunda en un contexto pedagógico más amplio, discursivo, razonador y participativo; no lo será si se transforma en acción rutinaria y en conjunto de operaciones «de receta». Se ha dicho con frecuencia que, sin el laboratorio escolar, el alumno no llegaría a apreciar suficientemente el significado y la naturaleza del quehacer científico. Sin embargo, las formas más frecuentes de utilización no tienen, por su carácter dogmático y dirigido, casi nada que ver con la verdadera indagación experimental. Además, gran parte de la naturaleza evolutiva y procesal de la ciencia sólo se puede poner de manifiesto a través de algunos métodos históricos (ver el capítulo siguiente), que insertan los contenidos y la metodología científica dentro de un marco social y cultural amplio. Un laboratorio mal utilizado puede llegar a ser tan dogmático y poco formativo como una clase magistral rutinaria y expositiva, y de ello conviene ser bien conscientes.

VII.6. ORGANIZACION DEL MATERIAL

Utilizar y disponer de material didáctico llevan implícita una organización adecuada, que facilite las vías de acción y maximice la fecundidad de los procesos. Quede bien claro que *planificación*, *programación* y *organización* no son sinónimos de dogmatismo ni de directivismo. Incluso los procedimientos didácticos más participativos y las estructuras escolares más permisivas pueden llegar a acarrear resultados nada deseables si no se conjugan con la suficiente organización de medio y de formas. La eficacia y el rendimiento así lo imponen.

Gran parte del entramado organizativo será la responsabilidad del centro en conjunto. En relación con este punto, se ha apuntado con frecuencia que todo el material audiovisual de *hardware* (aparatos) e, incluso, de *software* (documentos de paso), debería estar centralizado en una unidad estructural o en un espacio único. Por lo menos los aparatos, caso de que se destinen a ser utilizados por todo el profesorado. Gran parte de los documentos audiovisuales puede depender organizativamente de los departamentos o seminarios didácticos, y estar almacenada en los espacios destinados a los mismos. Es importante, no obstante, disponer de un fichero descriptivo de contenidos, similar a los ficheros de biblioteca, dado que muchos de los documentos pueden ser de utilidad para varios seminarios simultáneamente. Los propios alumnos, a través de grupos interesados en ello, pueden responsabilizarse de esta organización, como se lleva a efecto en numerosos centros norteamericanos.

La organización de los laboratorios ha de corresponder a los seminarios y departamentos de ciencias del centro escolar. No aludiremos aquí a la problemática de la administración y funcionamiento de los laboratorios, pues nos saldríamos del marco que hemos trazado para este capítulo. Existen, por otra parte, muchos y excelentes libros al respecto (11).

Desde hace varios años se viene imponiendo una interesante modalidad, en el caso de los niveles elementales y secundarios: las *aulas-laboratorio* (12). El objetivo de estas aulas consiste en integrar de forma más completa la enseñanza teórica y la enseñanza práctica, consideradas como dos polos inseparables de un mismo proceso de enseñanza-aprendizaje. De esta manera se contribuye a romper la vieja dicotomía, que otorgaba a los laboratorios un papel más bien auxiliar y paralelo al desarrollo de las clases, y no un papel sustancial al mismo. No es imprescindible para lograr una buena enseñanza de las ciencias, sin embargo, desarrollar todas las clases en el laboratorio, como creemos se habrá puesto de manifiesto a lo largo de este libro. Los procedimientos didácticos son de muchos y variados tipos, y existen diferentes formas de relacionar los

conceptos con el mundo real, y de crear un clima de discusión y de participación en la clase.

En este sentido, no nos manifestamos ni en favor ni en contra de las aulas-laboratorio. Además, no conviene identificar determinados medios y recursos didácticos con una mayor eficacia docente. Esta eficacia, como creemos habrá quedado ya suficientemente claro, depende de muchos factores de orden procesal y discursivo (técnicas de trabajo intelectual), y los medios no son más que una parte integrante de este conjunto de factores. Lo ideal, indudablemente, sería disponer de una gran riqueza de medios, pero esto no siempre es posible, ni siquiera en una mínima parte. De ahí que convenga suplir las deficiencias materiales con una formación más completa del profesorado, de un profesorado que sea bien consciente de los objetivos a conseguir y de los posibles caminos abiertos para ello.

Por otra parte, no se ha previsto en nuestro país ningún tipo de incentivo especial para las horas docentes extras dedicadas al trabajo de laboratorio. Una hora de actividades experimentales supone normalmente una mayor cantidad de tiempo adicional y de preparación que una clase de «teoría». Esto es bien sabido por el profesorado de ciencias. Los trabajos de ordenación del instrumental, reposición, organización y recogida del material de prácticas, etc., han sido asumidos en otros países por los laborantes escolares (por ejemplo, en Inglaterra). Esta es una figura que no existe en nuestro país y que puede ser suplida, sólo parcialmente, por grupos de alumnos voluntarios e interesados en colaborar en el desarrollo de actividades escolares. Incluso, por lo tanto, en el caso hipotético de disponer de suficientes laboratorios en el centro y de suficientes asignaciones económicas para las reposiciones de material, queda pendiente el trabajo intenso, y no siempre suficientemente recompensado, que recae sobre el profesor de ciencias.

Los docentes, qué duda cabe, suelen estar dotados de una gran carga vocacional hacia su quehacer; el interés y la buena voluntad suelen suplir muchas deficiencias de orden estructu-

ral. Pero otras solamente pueden enmendarse con una mayor cantidad de recursos y de incentivos al trabajo personal.

VII.7. RESUMEN DEL CAPITULO

Analizamos en este capítulo, de forma breve e introductoria, los diferentes tipos de recursos materiales en torno a los cuales es posible desarrollar la actividad docente en las áreas científicas. Estos recursos, de acuerdo con los estudios realizados por Dale, pueden estructurarse a lo largo de una escala de creciente grado de simbolismo: objetos reales y modelos (con los cuales puede llevarse a cabo actividades de tipo directo y de tipo reconstruido), material de laboratorio, medios audiovisuales y, finalmente, libros y material de lectura.

Los recursos materiales y audiovisuales suministran el soporte de experiencias concretas, a partir de las cuales los alumnos pueden desarrollar un mundo conceptual y simbólico. Sin estos recursos, sobre todo en los niveles más elementales, se corre el peligro de crear altas cotas de formalismo y simbolismo, sin una suficiente relación con el mundo natural y tecnológico. Se trataría, en este último caso, de una enseñanza libresco, sin un suficiente anclaje en el terreno de las experiencias concretas.

Se defiende, a lo largo de todo el capítulo, una utilización dinámica de los medios y recursos, de tal manera que estos últimos no ahoguen el razonamiento y la participación de la clase en el proceso didáctico. En todo caso, es fundamental una buena consciencia del papel que pueden jugar los medios en dicho proceso, como cauces e instrumentos que favorezcan la consecución de determinados objetivos formativos. Finalmente, se analiza con brevedad el problema de la organización del material, y se apuntan algunos aspectos de interés en este sentido.

CUESTIONES DE APLICACION Y AUTOEVALUACION

1. Analice y justifique (o critique) las siguientes afirmaciones:

- Dado que toda generalización se apoya sobre observaciones y experiencias *concretas*, solamente se puede enseñar las ciencias de forma fecunda utilizando el material didáctico inductivamente.
- En los niveles secundarios es suficiente con utilizar el libro de texto (siempre que se procure la participación discursiva de los alumnos, por supuesto). En los niveles elementales, por contraste, es imprescindible partir de experiencias y de la observación de documentos audiovisuales.
- Las películas son un medio didáctico superior a las vistas fijas (diapositivas, filminas, láminas de retroproyector, etc.).
- No es completamente necesario disponer de un laboratorio en el centro escolar. Con una buena serie de películas monoconceptuales y experimentales, se puede suplir con ventaja su existencia.
- Es altamente efectivo, en las prácticas de laboratorio, proponer muy bien organizados y sistematizados todos los pasos que tienen que seguir los alumnos en sus trabajos (mediante el uso de guiones bien definidos).
- En las experiencias y demostraciones de cátedra, conviene explicar con todo detalle los procesos que tienen lugar, así como el sentido y la interpretación que se da de los mismos.

2. Escoja algún concepto, que se supone han asimilado los alumnos previamente, y localice los errores en que incurren estos últimos acerca del mismo. Para ello, utilice algún recurso audiovisual o alguna experiencia o ilustración concreta en que se ponga de manifiesto algún ángulo o faceta del concepto.

Extraiga consecuencias didácticas pertinentes, en relación con la enseñanza científica.

3. Haga un análisis detallado de diferentes modelos visualizables que haya explicado en clase (modelos moleculares celulares, estructurales, etc.). Detecte los errores conceptuales que, en relación con los mismos, presentan los alumnos. Corrija estos errores, ayudando a razonar sobre el verdadero carácter de los modelos (carácter de reproducción a escala, carácter simbólico, carácter analógico, etc.).

4. Planifique alguna actividad de laboratorio de tipo indagatorio o investigador. Plantee una serie de interrogantes a la clase, y déle algunas pistas en relación con la búsqueda de respuestas e interpretaciones. Procure no «explicar» cómo llevar a cabo el proceso, dando posibilidades a la libre iniciativa de los alumnos. Analice los resultados obtenidos, y discútalos en gran grupo (como es lógico, y dada la escasez de tiempo y de material, no podrá llevar a cabo esta actividad muchas veces a lo largo del año escolar).

5. Caso de disponer de alguna película científica en su centro de trabajo, o de tener la posibilidad de conseguirla en préstamo (a través de alguna embajada, fondos de préstamo u otros centros de enseñanza), estudie los modos de sacar partido didáctico de la misma. No se trata de organizar una proyección para «distraer» o «cambiar de actividad», sino de lograr resultados formativos y fecundos. Piense algunas preguntas y cuestiones acerca del tema y del desarrollo de la película, y propóngalas a los alumnos antes de la proyección. Analice el aprendizaje y la comprensión obtenidos, mediante cuestiones y discusiones posteriores a la proyección. Procure entroncar estas actividades dentro del proceso didáctico del curso, de forma que no resulten algo aislado y desconectado del mismo.

6. Analice las características de los libros de texto que utiliza en su quehacer docente, y compárelas con las de algu-

nos cursos y proyectos discutidos en el capítulo 12.º. Haga uso de las ideas apuntadas en este mismo capítulo, con objeto de seleccionar adecuadamente libros y materiales didácticos en el futuro.

7. Procure conseguir algunos libros de divulgación y «ciencia recreativa», así como los manuales de actividades de algunos de los proyectos didácticos reseñados en el capítulo 12.º. Utilícelos como fuente de experiencias de cátedra que sirvan de motivación y de introducción a determinados temas del curso. Lleve a cabo algunas de dichas experiencias, y planteese a sí mismo una serie de cuestiones y razonamientos acerca de los procesos observados. Estas cuestiones pueden jugar el papel de resortes de la participación y el discurso de los alumnos.

REFERENCIAS

(1) DALE, Egdar. *Métodos de enseñanza audiovisual*, 2.^a Ed., Reverté, 1966.

(2) OWEN, A. M. «Selecting Science Textbooks», en *Readings in Science Education for the Secondary School* (dirigido por Hans O. Andersen), The McMillan Co., Nueva York, 1969, pp. 252-257.

(3) WELLER, C. M. «The Role of Analogy in Teaching Science», en *Journal of Research in Science Teaching*, Vol. 7, pp. 113-119, 1970.

(4) KAMENETSKII, S. E. «The Use of Analogy in the Secondary-School Physics Course», en *Methods of Teaching Physics in Soviet Secondary Schools* (V. F. Yus'kovich, ed.), Daniel Davey and Co., Nueva York, 1966, pp. 132-158.

(5) Cf., en relación con este apartado: NORBIS, G. *Didáctica y estructura de los medios audiovisuales*, Ed. Kapelusz, Buenos Aires, 1971.

(6) MILLER, J. S. «Matters of Importance in the Teaching of Physics», en *Teaching Physics Today*, OCDE, Paris, 1965, pp. 47-70.

(7) SCHWAB, J. J. «The Teaching of Science as Enquiry», en: J. J. Schwab y P. Brandwein, *The Teaching of Science*, Harvard Univ. Press, 1962.

(8) FERNANDEZ CASTAÑÓN, María L. «La zona de laboratorios de Ciencias de la Naturaleza de EGB», en *Vida Escolar*, Núm. 155, enero 1974, pp. 13-17.

(9) COMBER, L. C.; KEEVES, J. P. *Science Education in Nineteen Countries*, John Wiley, Nueva York, 1973.

(10) SHULMAN, Lee S.; TAMIR, P. «Research on Teaching in the Natural Sciences», en el *Second Handbook of Research on Teaching* (A. Travers, ed.), Rand McNally, 1973, pp. 1098-1148.

(12) DEL ARCO, E.; VIDAL BOX, C. *Aulas-Laboratorio de Física y Química y Ciencias Naturales*, Ed. Revista «Enseñanza Media», serie de cuadernos didácticos, Madrid.

(11) Cf., por ejemplo: GUY, K. *Organización y administración de laboratorios*, Ed. Urmo, Bilbao, 1970.

BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTARIA

– AVERY, J. H.; INGRAM, A. W. K. *Modern Laboratory Physics*, Heineman Educational, 1971 (libro dirigido a alumnos de 16-19 años de edad).

– ESTALELLA, J. *Ciència recreativa*, Ed. Gustavo Gili, Barcelona, 1973.

– LASSNER, M. «The Development of Laboratory Investigations to be used by High School Chemistry Students», en *School Science and Mathematics*, Vol. LXXIII, Núm. 7, 1973.

– ROCA ROCA, A. *Ciencias Naturales*, Guías de Orientación Didáctica, Serie Bachillerato, Núm. 4. ICE de la Univ. de Granada, 1975.

- SALEM, D. *Experiencias científicas para maestros de escuelas elementales*, UTEHA, Méjico, 1968.
- SANCHEZ REAL, J. «El espacio vital en el laboratorio de Física y Química», en *Educadores*, Núm. 84, pp. 505-513, 1975.
- SCHECKLES, M. *Cómo enseñar las ciencias al escolar*. Ed. Paidós, Buenos Aires, 1964. Especialmente el capítulo 2.º («Cómo planear experiencias científicas para los niños») y el 3.º («El equipo: su selección y cuidado»).
- STEVENS, R. A. *Out of School Science Activities for Young People*, UNESCO, París, 1969.
- THIER, H. D. *Teaching Elementary School Science: A Laboratory Approach*, D. C. Heath and Co., Boston, 1970.
- VRANA, R. S. *Junior High School Science Activities*, Prentice-Hall, 1969.

Para finalizar, damos a continuación las referencias de algunas firmas productoras o distribuidoras de películas científicas:

- Aries Films, Córcega, 271, Barcelona.
- Encyclopedia Britannica Educational Corporation, Chicago, Illinois.
- Kodak, Irún, 15, Madrid.
- McGraw-Hill, Nueva York (USA)-Maidenhead (Inglaterra).
- Movinter, Desengaño, 12, Madrid.

Existen, finalmente, diversas embajadas acreditadas en Madrid, que disponen de interesantes películas científicas para ceder en préstamo.

VIII. LOS METODOS HISTORICO-DIDACTICOS

VIII.1. LA HISTORIA DE LA CIENCIA

Tanto en el capítulo 2.º, como en el 3.º, se han analizado diferentes aspectos en relación con la naturaleza de la Ciencia y su evolución social. En este apartado nos limitaremos a completar algunos puntos relativos al devenir histórico de las actividades y los conceptos científicos, e invitamos al lector a revisar las ideas expresadas en los citados capítulos.

Cada vez más se está avanzando hacia la construcción y articulación de una verdadera «Historia de la Ciencia», conceptual, social y económica, quedando atrás los antiguos tratados descriptivos, tachonados de anécdotas y curiosidades en relación con la actividad de los investigadores. Algunos autores (Kuhn, Bernal y Price fundamentalmente) han propuesto incluso diferentes *teorías interpretativas* de las estructuras evolutivas, todas las cuales deberán ser contrastadas con futuros estudios. La metodología científica ha comenzado, por consiguiente, a ser utilizada en el análisis de la misma Ciencia (de ahí que, como veremos luego, se ha llegado incluso a hablar de una «*ciencia de la ciencia*»).

De las teorías acerca de la evolución conceptual, una de las más sugerentes y provocativas es la de Thomas Kuhn, parte de la cual se ha presentado en el capítulo 2.º (1). Kuhn ha intentado dilucidar cuál es la estructura de las revoluciones conceptuales, que jalonan y marcan el camino evolutivo de las ciencias. Dejando aparte la problemática filosófica implicada, que ya ha sido analizada en otro lugar, nos limitaremos a plantear un bosquejo de estructura histórica de las ramas físico-químicas, de acuerdo con el modelo propuesto por Kuhn

(no abordamos el caso de las ciencias biológicas, por no extendernos demasiado, pero invitamos al lector a consultar la bibliografía propuesta al final del capítulo).

No se puede hablar de ciencia verdadera, en el sentido que utilizamos nosotros el término «ciencia», si no existe un conjunto de *teorías y modelos* («paradigmas»), los cuales son constantemente contrastados con la realidad y modificados (sin alterarlos fundamentalmente, en los periodos «normales» del devenir histórico) o profundamente alterados y remodelados (en los periodos «revolucionarios»). De ahí que sea posible estudiar la historia de una rama determinada de la actividad científica a partir del análisis de sus paradigmas básicos. Por ejemplo, en el caso de las áreas físico-químicas, una posible estructura sería:

— Etapa primitiva y el paradigma de las «Causas Finales». Uno de los primeros ejemplos conocidos de racionalización del saber lo constituye el célebre Principio de las Causas Finales, propuesto por Aristóteles. Según dicho principio, por ejemplo, una piedra cae al ser dejada libre porque tiende a alcanzar una situación de *equilibrio final* al alcanzar el suelo; el péndulo oscila durante un cierto tiempo y acaba, finalmente, deteniéndose porque su «finalidad» es alcanzar una situación de equilibrio estático. Es fácil percibir, por consiguiente, un matiz de interpretación biologicista en la Física de Aristóteles (es decir, se interpretan los fenómenos físico-químicos o inanimados a partir de paradigmas de tipo biológico-animista, en base a «tendencias» a alcanzar determinadas situaciones finales).

El paradigma aristotélico de las Causas Finales influyó en el pensamiento filosófico y teológico europeo hasta la época del Renacimiento. Este paradigma hace de las situaciones estáticas y ordenadas la finalidad de todos los procesos, y se relaciona con la estamentalización y el teocentrismo del pensamiento medieval.

— El paradigma copernicano (la «Revolución Copernicana», o imagen heliocéntrica del Universo).

Copérnico pretendió algo más que realizar cálculos consistentes con las observaciones astronómicas (el mismo Ptolomeo ya había hecho algo semejante). Su objetivo fue explicar los

movimientos estelares como combinación de ciertos movimientos ideales o absolutos, que se explicasen por sí mismos o que pudieran considerarse como evidentes. Este cambio drástico de paradigma facilitó el descubrimiento por Kepler de las leyes del movimiento planetario a comienzos del siglo XVII. No es casualidad que una serie de descubrimientos en cadena tuvieran lugar tras la ruptura de las antiguas concepciones: el nuevo paradigma heliocéntrico era más fecundo que los antiguos geocéntricos, y comenzaba a rendir sus frutos.

— La Síntesis Newtoniana. Se habla de un proceso de «*síntesis*», en la imagen estructural de Kuhn, cuando diferentes paradigmas previamente concebidos se enlazan para dar como resultado un conjunto de paradigmas más generales u omnicomprensivos. Así, la Ley de la Gravitación Universal de Newton tuvo como raíz lejana el paradigma copernicano, las Leyes de Kepler y las leyes de la dinámica, de Galileo. Newton estableció de una vez por todas una *visión dinámica* del Universo, en contraposición a la imagen estática implícita en el paradigma de las Causas Finales. El modelo newtoniano, sin embargo, acabó imponiéndose de tal manera que proyectó una sombra no siempre benéfica sobre el desarrollo científico hasta el siglo actual. Las fuertes limitaciones existentes en las concepciones absolutas del espacio y del tiempo, enraizadas en la estructura newtoniana, no fueron advertidas finalmente hasta la época de Einstein.

— El paradigma o Teoría Atómica de Dalton. Pasando del campo de la Mecánica al de la Química, cabe localizar a principios del siglo anterior el jalón destacado de la teoría de Dalton, que puede considerarse como la primera teoría química verdaderamente fecunda. Fue el primer paradigma importante que habría de dar a la Química el carácter de ciencia moderna, tras los largos forcejeos y tentativas de los alquimistas (parcialmente configurados por la «teoría del flogisto», de Stahl).

— La Síntesis de Maxwell. La gran síntesis, en la Física del siglo XIX, la realizó Maxwell, con su Teoría Electromagnética de la Luz. Esta teoría unificaba el electromagnetismo y la óptica en un modelo único. Como es lógico, las ideas de Max-

well no surgieron del vacío, sino que (lo mismo que en el caso de Newton) se apoyaban sobre un conjunto de paradigmas y concepciones previamente desarrollados: los modelos ondulatorios de la luz y los modelos de los campos electromagnéticos.

Al finalizar el siglo XIX, las ciencias físico-químicas habían alcanzado un punto culminante en su desarrollo. Se había logrado introducir una serie de paradigmas lógicos y fecundos que daban cuenta de las leyes y las observaciones anotadas hasta la fecha, así como del comportamiento inanimado del Universo. Nuevos descubrimientos, sin embargo, incompatibles con este sistema de concepciones, habrían de provocar la aparición de nuevas revoluciones científicas y el surgimiento de nuevos paradigmas. Entre dichos descubrimientos, cabe citar: el problema de la emisión del cuerpo negro, el efecto fotoeléctrico, las series de emisión espectral, y los experimentos de Michelson y Morley.

Sin entrar en detalles acerca de la naturaleza de los paradigmas contemporáneos, reseñamos seguidamente algunos de ellos con objeto de completar la imagen evolutiva presentada:

- El paradigma o Teoría de la Relatividad (Restringida y General).
- Los modelos deterministas de Rutherford y Bohr-Sommerfeld.
- Las teorías de la Mecánica Ondulatoria.
- La Mecánica Cuántica.
- La Teoría Cuántica de Campos.

Estos nuevos paradigmas han sustituido las concepciones mecanicistas del siglo XIX (con sus visiones absolutas del espacio-tiempo) por otros nuevos enfoques, de tipo probabilístico y relativista. El bosquejo anterior puede servir de ilustración de un modelo (como es el de Kuhn) que dota de una estructura fecunda y pedagógicamente válida al estudio de la Historia Conceptual de la ciencia.

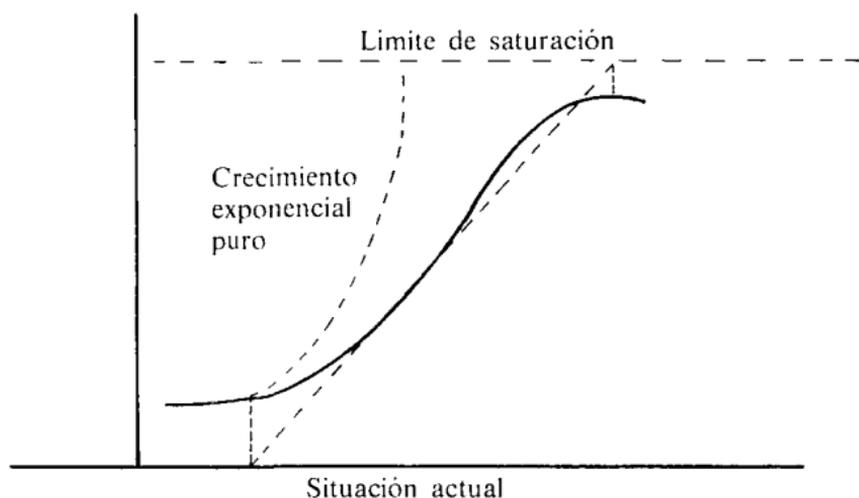
No entramos en detalles aquí acerca de la historia sociológica y la económico-tecnológica de la Ciencia (en el capítulo 3.º, así como en las obras de J. D. Bernal, se puede adquirir cierta información al respecto). Vamos a aludir brevemente, sin em-

bargo, a los estudios de Price en torno a la evolución cuantitativa del edificio científico. Una vez más queremos repetir que el objeto de este apartado no es ofrecer un resumen de la Historia de la Ciencia, sino ilustrar diferentes enfoques a su estudio, todos ellos de interés para la introducción a la metodología didáctica que se analiza en los restantes apartados de este capítulo.

Price ha acometido el sugestivo estudio de la evolución cuantitativa de la Ciencia (utilizando para ello la metodología científica y el análisis estadístico; de ahí que sus trabajos hayan iniciado parte de la nueva rama de investigación denominada *Ciencia de la Ciencia*). Aunque se suele hablar, en el siglo actual, de la «Gran Ciencia», en contraposición a las menos numerosas contribuciones de los siglos pasados (que constituyen la «Pequeña Ciencia»), parece ser que el proceso de crecimiento sigue leyes similares en ambos períodos. Hasta Price y otros investigadores coetáneos, como Shockey y Kedrov, el énfasis se había solido hacer sobre los aspectos cualitativos, tanto en lo que se refiere a la evolución conceptual, como la económica-tecnológica y la sociocultural. Así, el análisis que realizamos anteriormente en torno a las revoluciones paradigmáticas es de tipo cualitativo, y no cuantitativo. En dicho análisis dimos tanta importancia a los detalles de los siglos XVII y XIX, como a los del XX (aun cuando, en este último, el cúmulo de conocimientos sea muchos millares de veces superior).

Cuantificar las aportaciones de los investigadores es muy difícil. ¿Es, acaso, mejor contribución la de un determinado científico, mediocre pero prolífico en publicaciones, que la de una personalidad de la talla de Einstein, que tan pocos trabajos dejó a la posteridad? A pesar de ello, y dejando aparte los casos de los grandes pensadores, existe una cierta correlación entre la calidad global de los conocimientos científicos en una época concreta, y el número de publicaciones y de revistas profesionales existentes. Sobre esta base, es posible obtener un cierto índice cuantitativo del «volumen de conocimientos científicos» (habría que hablar mejor de «aportaciones») en una época y en un país determinados.

Si se representa en unos ejes de coordenadas un determinado índice cuantitativo (como puede ser: número de científicos activos, número de publicaciones anuales, número de revistas profesionales, número de asociaciones científicas, porcentaje de la renta nacional dedicado a la investigación, etc.) en función del tiempo, se obtienen aproximadamente curvas de tipo exponencial. Estas curvas reflejan el carácter exponencial del crecimiento científico en la actualidad, tendiendo, de acuerdo con Price, a adoptar la forma de una curva logística en el futuro (*crecimiento exponencial con saturación*).



Según los cálculos de Price, el volumen del edificio científico se duplica aproximadamente cada quince años (dependiendo del índice que se considere). Supuesto que este período se mantenga constante a lo largo de grandes etapas, se obtiene una curva de tipo exponencial, como la representada en la figura. Extrapolando hacia el pasado, con un período de duplicación similar, es posible afirmar que la Ciencia ha sido siempre joven, dado que en todo momento estarían activos un 90 por 100 de todos los científicos que hayan existido con anterioridad. No ocurre así con la Historia de la Humanidad,

puesto que el total de la población hoy en día existente no es sino un pequeño porcentaje del número global de personas que hubiesen existido en épocas anteriores.

Extrapolando hacia el futuro, se imagina Price un límite de saturación al aumento de la Ciencia, dado que no es razonable imaginar que se vayan a dedicar en años venideros porcentajes del producto nacional muy superiores a los dedicados actualmente en los países más adelantados. La curva, exponencial hoy en día, tendería a abatirse y a adoptar una tendencia a un cierto límite, con un punto de inflexión correspondiente a los años finales del siglo actual.

Dejando aparte el problema de la estricta validez de estos estudios, no cabe duda que ilustran los mismos de forma bastante fiel el carácter evolutivo y acumulativo de la ciencia, que ha alcanzado en los últimos años índices de crecimiento realmente fabulosos. Aunque el período de duplicación se mantenga constante, las cifras a multiplicar son cada vez mayores. Así, entre 1670 y 1970 (entre Newton, y el comienzo del actual decenio), el índice de crecimiento se situaría en las proximidades del millón. En quince años más, se duplicaría el total de conocimientos hasta entonces acumulados, lo que supondría multiplicar por dos millones el conjunto de saberes de la época de Newton.

¿Qué consecuencias pedagógicas podrían extraerse de las anteriores observaciones? Por una parte es indudable que, a pesar del considerable volumen de los conocimientos de vanguardia, el profesorado se ve constreñido a centrar sus enseñanzas fundamentalmente en los conocimientos gestados en siglos anteriores. Así, en la enseñanza de la Física, el estudio de la Mecánica Clásica desarrollada en los siglos XVII y XVIII puede muy bien suponer el porcentaje más elevado del curso, a expensas de la introducción de temas de mayor actualidad. En Química y en Biología la situación es mejor, dado su carácter más joven como ramas científicas. En cualquier rama, sin embargo, es necesario dominar los conceptos básicos y «clásicos» antes de poder asimilar suficientemente los más elevados (dado el carácter acumulativo y orgánico de la ciencia).

Se puede, de esta manera, incurrir en un conflicto pedagógico nada desdeñable; aunque el objetivo final de la enseñanza científica en los niveles elemental y medio radique en el desarrollo de *esquemas interpretativos* del mundo actual, se corre el riesgo de manipular solamente aspectos clásicos; estos últimos, en gran medida, permiten comprender e interpretar fenómenos simples, con frecuencia no situados en la vanguardia del interés del niño y del adolescente. Es importante, con todo, no dejar de lado el estudio de facetas de actualidad, con fines de motivación y de relevancia educativa. Frecuentemente, y con objeto de alcanzar esta meta, será necesario simplificar y adaptar determinados conceptos; por ello, es muy importante que el alumno sea consciente del carácter aproximado y simplificado de los modelos y esquemas discutidos en clase (véase, en relación con estos puntos, los capítulos 2.º y 9.º).

VIII.2. LOS ENFOQUES HISTORICOS

Con frecuencia, se han elevado voces de protesta contra el carácter ahistórico de gran parte de las enseñanzas transmitidas en los diferentes ciclos educativos (3). Se corre constantemente el peligro de enseñar conceptos de forma dogmática y estática, transmitiendo de esta manera una imagen alejada de *carácter evolutivo y dinámico* de las ciencias. Ya en el capítulo 2.º aludimos a las dificultades de desarrollar una comprensión adecuada de la naturaleza de la ciencia, y al riesgo de que los alumnos concedan carácter existencial a modelos e interpretaciones que solamente tienen un valor instrumental y conceptual-hipotético.

La utilización de enfoques históricos en la enseñanza científica puede constituir un medio muy eficaz para transmitir una imagen coherente y adecuada del proceso de la ciencia (4). En el apartado siguiente analizaremos diferentes vías didácticas en este sentido, y en éste nos limitaremos a discutir de forma general las ventajas e inconvenientes de la metodología histórica.

Por una parte, es importante reflexionar sobre el carácter

humanístico de gran número de las vertientes científicas. Aunque, aparentemente, los conceptos y contenidos adopten una forma neutra y «objetiva» en las exposiciones de los libros de texto, su génesis ha supuesto con frecuencia grandes *luchas y polémicas intelectuales* a lo largo de la historia. Las revoluciones científicas (cuya estructura se ha discutido en el capítulo 2.º) han acarreado todas ellas la destrucción de determinadas concepciones en favor de otras más privilegiadas. Y estas concepciones a veces han estado aliadas a determinadas líneas de tipo filosófico y político. Incluso en el siglo actual, las polémicas de la ciencia judía en la Alemania Nazi y de la genética mendeliana en la Rusia de Stalin ofrecen un revelador ejemplo de las luchas intelectuales que comportan las revoluciones conceptuales. El proceso de Galileo, en la Italia del siglo XVII, puede ser otro ejemplo de gran interés para poner de manifiesto determinados aspectos de las componentes socioculturales del proceso científico (véase el capítulo 3.º).

A pesar de todos los avatares en que se ha visto inmersa la actividad de los científicos, la ciencia ha ido adoptando cada vez más un carácter neutro y objetivo, sin distinción de ideologías políticas, y con un lenguaje común que posibilita la comunicación interpersonal. Este carácter «objetivista», sin embargo, conviene matizarlo adecuadamente (tal como hecho en el capítulo 2.º). El análisis del devenir histórico de determinados conceptos y métodos puede ayudar a ilustrar diferentes tendencias de la *evolución científica*, desarrollando de esta manera en la mente del alumno una sólida conceptualización acerca de la misma. Dado el matiz cambiante y «provisional» de los diferentes modelos y teorías, es muy difícil apreciar el sentido de los mismos sin una visión histórica y evolutiva.

• Muchos *prejuicios e ideas erróneas* acerca de la ciencia pueden ser destruidos y convenientemente matizados a través de la metodología histórica. Así, una fe excesiva en el poder de la ciencia y de la tecnología (o una confianza en las mismas excesivamente escasa y distorsionada) puede tornarse en visión analítica y objetiva. Y las simplificaciones y vaguedades acerca de la actividad de los científicos pueden ser adecuadamente corregidas. Por ejemplo, es posible poner de manifiesto

la resistencia de determinados investigadores (incluso de reconocido prestigio y renombre) a la aceptación de concepciones que ponen en peligro las suyas propias: concepciones que han acabado por imponerse más adelante en base a su eficacia y fecundidad interpretativas.

Los enfoques históricos pueden encerrar también *elementos de motivación* muy interesantes. Conviene tener presente que la gestación de las actuales concepciones ha sido muy lenta y gradual, y que ha supuesto el vencimiento de opiniones simples y de «sentido común» muy enclaustradas en las formas de pensamiento no analíticas ni científicas. Se ha debido superar, a lo largo de muchos siglos, opiniones e interpretaciones de mayor pobreza y menos fecundidad que las actuales: opiniones que, a su vez, también se debieron imponer previamente sobre otras todavía más primitivas. Al saltar todas estas etapas evolutivas, y dar a los alumnos solamente el «resultado» de los procesos intermedios del pensamiento, se puede *chocar con las formas naturales de interpretación* y desviar la atención por derroteros que, ni siquiera superficialmente, habían comenzado aquéllos a recorrer de forma personal. De esta manera, es posible incurrir en graves problemas de motivación, enraizados en el desajuste existente entre las tendencias naturales de razonamiento y los contenidos del currículum escolar (en el capítulo 5.º se ha analizado brevemente este punto, en relación con la enseñanza elemental de las ciencias).

El estudio de la evolución histórica de determinados conceptos puede ayudar a introducir al alumno suavemente dentro de las estructuras del razonamiento científico. Se recorrerían, parcialmente, los caminos por los que han discurrido las interpretaciones del mundo natural a lo largo de siglos, con sus problemas y obstáculos encontrados, con sus tentativas y reajustes constantes. El alumno no se vería enfrentado bruscamente con un conjunto de *soluciones* a problemas que ni siquiera se había planteado previamente, sino que sería introducido de forma gradual a las mismas, mediante su participación discursiva y a través de una ayuda no dogmática del profesor. Entre ambos (profesor y alumno) se irían *reconstruyendo* las soluciones parciales a los problemas analizados, fundamentalmente a partir

de experiencias y de observaciones de interés. El grado de motivación crecería con toda probabilidad.

Así, la Ley de la Gravitación Universal (por poner un ejemplo) supuso el recorrido de las siguientes metas o jalones previos:

— Llegar al convencimiento de que son los planetas (incluido el nuestro) los que giran alrededor del Sol. Este convencimiento no se adquirió con facilidad, dado que contradice de forma notable «el sentido común».

— Superar la concepción circular del movimiento inercial (tal como lo suponía Galileo). Una de las primeras interpretaciones que se aventuraron para dar cuenta del giro ininterrumpido de los planetas alrededor del Sol suponía que el movimiento libre circular es el natural, y que no requiere de la acción de ninguna fuerza exterior. De esta manera, los planetas recorrerían ciclos constantemente, y las trayectorias elípticas se interpretarían por la superposición de movimientos circulares elementales.

— Una vez que se hubo llegado a la concepción lineal del movimiento inercial («todo cuerpo libre se movería a lo largo de una recta con velocidad constante»), fue necesario suponer la existencia de una fuerza entre el Sol y los planetas; de otra manera, los planetas se moverían linealmente, y no circularmente. Newton tuvo la osadía de imaginar la existencia de fuerzas o acciones a distancia, de esta forma venciendo muchas otras interpretaciones «de sentido común».

La secuencia anterior nos puede ilustrar el modo cómo las concepciones científicas se han ido gestando con lentitud, y a lo largo de siglos. Un enfoque histórico, bien desarrollado, puede conducir el razonamiento de los alumnos por los caminos que antes han recorrido otros, de esta manera *ajustando* el proceso de aprendizaje a las estructuras de razonamiento lógico-evolutivas. Este tipo de enfoques, sin embargo, encierra también algunos peligros que conviene puntualizar.

El más grave, de entre dichos peligros, radicaría en la trivialización de procesos, que son frecuentemente más complejos y ricos que como se presentan en clase (5). En ocasiones, además, se puede transmitir ideas totalmente erróneas y no ajusta-

das a la realidad de los hechos. En el apartado siguiente matizaremos con más detalle estos puntos.

Es indudable, para terminar, que al propio profesor compete adquirir un suficiente dominio de los aspectos sociológicos, tecnológicos, económicos y conceptuales de la historia de la Ciencia. Existe una buena y variada bibliografía al respecto, que puede resultar de inestimable ayuda. Sin embargo, y dada la abundancia de errores y de trivializaciones existente en gran parte de las obras publicadas, interesa escoger las lecturas con tacto y prudencia. A partir de un buen dominio de la temática, es posible poner en juego alguno de los diversos enfoques que analizamos en el siguiente apartado.

VIII.3. DIFERENTES ENFOQUES DIDACTICOS

1. *Uso de anécdotas.*

Probablemente sea éste el método utilizado con más frecuencia en la enseñanza científica (5). Gran parte de los libros de texto localizables en el mercado, y dirigidos a los niveles elemental y secundario, incluyen anécdotas de mayor o menor interés; estas anécdotas se relacionan con la actividad de determinados científicos, con las dificultades encontradas para la introducción de alguna teoría novedosa, etc.

Este enfoque, si el material es verídico y relevante, puede contribuir a tachonar la enseñanza de las ciencias con aspectos humanísticos, así como a dotar a la clase de un cierto grado de amenidad e interés. Se corre el riesgo, no obstante, de simplificar en ocasiones la realidad y de tergiversar determinados hechos históricos. Por otra parte, puede resultar contraproducente hacer uso de un excesivo número de anécdotas, que desviarían la atención por derroteros de valor educacional muy secundario.

2. *Biografías.*

También abundan en los libros de texto resúmenes biográficos de científicos de gran renombre y prestigio. Los aspectos

biográficos (algunos de los cuales podrían incluirse en el apartado correspondiente a las anécdotas) pueden ilustrar de forma conveniente la problemática de las interrelaciones ciencia-sociedad y ciencia-economía. Así, la visita del químico inglés sir Humphry Davy a la Francia de Napoleón (con permiso otorgado por este último, aun existiendo una situación beligerante entre Inglaterra y Francia) puede contribuir al esclarecimiento de los siguientes puntos:

- La notable diferencia existente entre las relaciones ciencia-sociedad hoy en día, y hace siglo y medio (6).
- La problemática de la comunicación entre científicos pertenecientes a distintos países (hoy en día, notablemente solucionada).
- Algunos aspectos del nacimiento de la Química a comienzos del siglo pasado, en el cual jugaron los científicos ingleses y franceses un papel de gran relevancia.

Tanto en el caso de las anécdotas, como en el de las biografías, es muy importante obtener conclusiones de interés para la conceptualización acerca de la ciencia y su génesis. En ambos casos, por consiguiente, la actividad no debe morir en la propia narrativa, sino que esta última debe dar pie a una fecunda discusión acerca de la compleja naturaleza de la ciencia. Por supuesto, los alumnos han de jugar un papel esencialmente activo y discursivo en estos análisis, en los cuales el profesor debería adoptar una postura de guía y de ayuda, y no de expositor y aclarador.

3. *«Narrativa de la investigación».*

Este método ha sido defendido por Schwab, entre otros autores (7). Dadas las dificultades existentes para realizar experimentos de laboratorio conducentes a la generalización conceptual y al planteamiento de hipótesis interpretativas (dificultades tanto de orden material, como temporal), Schwab ha propuesto un método de «aula» que posibilita la transmisión de una imagen pedagógica acerca del proceso científico. En la «narrativa de la investigación» se presentan a los alumnos

datos reales de valor histórico, que hubieran podido obtenerse en el laboratorio, y la descripción de situaciones problemáticas con las que se han enfrentado los investigadores. A partir de todo este material, se construirían modelos interpretativos y se reharía el proceso seguido en una situación real.

Schwab propone no presentar solamente ejemplos «perfectos», con una solución definida y nítida, sino que «se debería hacer énfasis en los *aspectos de incertidumbre* de cada investigación, en los límites de aplicabilidad o adecuación de las conclusiones alcanzadas, en las cuestiones y problemas que se dejan sin resolver» (aspectos discursivo, aproximativo y evolutivo del quehacer científico).

4. *Casos históricos.*

Un «caso histórico» encierra el análisis de un proceso clave en el desarrollo de la ciencia, con sus implicaciones y derivaciones de tipo sociológico, filosófico, conceptual, económico, etcétera. Uno de los primeros profesores de ciencias que ha hecho uso del «método de casos» (anteriormente utilizado con profusión en la formación de abogados y hombres de negocios) ha sido Conant, en los cursos de Educación General ofrecidos por la Universidad de Harvard (8). Estos «casos» iban normalmente destinados a estudiantes de Humanidades, que podían así adquirir una serie de conceptos acerca de la naturaleza de la Ciencia a partir de un análisis de tipo humanístico e histórico.

Posteriormente, se han desarrollado y publicado una serie de «Casos de la Historia de la Ciencia», dirigidos a la enseñanza en los niveles secundarios (9). Algunos de los títulos pueden ilustrar el carácter del material incluido: «La Química del Aire Fijo», «El descubrimiento de los elementos halógenos», «La velocidad de la luz», «La sexualidad de las plantas», «Las células de la vida», etc.

Cada «caso» publicado consta de un librito para el alumno y la correspondiente guía didáctica para el profesor (esta última contiene material adicional para la autoformación del docente, así como tests de evaluación de las vertientes conceptuales e histórico-sociales). Cada librito del alumno incluye

una narración o descripción de los aspectos más relevantes, un conjunto de preguntas y cuestiones de reflexión acerca del tema, así como la descripción de diferentes experiencias de laboratorio (tal y como pudieron haber sido realizadas en la época histórica correspondiente). Se procura, por lo tanto, fomentar la participación activa del alumno, sirviendo el «caso» como centro de interés en torno al cual se desarrolla un conjunto de aspectos conceptuales y metodológicos de relevancia.

Numerosas investigaciones (10) han puesto de manifiesto que, con este procedimiento, se logra aumentar la motivación y la comprensión de los alumnos de forma notable. Es importante destacar, no obstante, que el material total incluido en un curso de ciencias se restringe evidentemente al incluirse casos históricos, y de ahí que no convenga hacer uso más que de unos pocos a lo largo del curso. Con una adecuada biblioteca de temas históricos, el propio profesor puede diseñar algún caso didáctico adecuado al material disponible en su centro de trabajo, y ajustado a las necesidades pedagógicas de su quehacer.

5. *Experimentos históricos*

Este enfoque consiste en la repetición o replicación de experimentos realizados por los científicos en otras épocas históricas. El enfoque de Schwab («narrativa de la investigación») es similar; la única diferencia radica en que Schwab propone la descripción y el análisis del experimento, y no su realización práctica. El método de los «casos históricos», como hemos visto anteriormente, hace uso también de experimentos de laboratorio relativos al tema en estudio.

Experimentos sencillos de replicar, como son: la calcinación del mercurio (por Lavoisier), el estudio de la relación entre presión y volumen de un gas (por Boyle), los experimentos de Galileo, etc., pueden realizarse en clase sin grandes dificultades materiales. Algunos proyectos didácticos modernos, como el Harvard Project Physics (véase el capítulo 12.^o), hacen uso abundante de este enfoque.

6. *Estudio de trabajos y publicaciones originales.*

El propio Schwab, como parte de su enfoque, propone el estudio y la discusión en clase de artículos de investigación originales, publicados en otras épocas. De esta forma, el alumno (especialmente el universitario) podría adquirir una idea acerca de la problemática enfrentada al investigador, de las dificultades encontradas y de la metodología de trabajo utilizada. Dado que, en épocas pasadas, la ciencia no había alcanzado todavía el grado de desarrollo actual, es factible la discusión y estudio de materiales publicados en las mismas.

Desde hace bastantes años, y con un objetivo fundamentalmente pedagógico, se han publicado en Estados Unidos «reprints» o reimpressiones de trabajos originales de investigación. Estos trabajos, normalmente realizados por personalidades de gran significación para el avance de la ciencia, pueden servir de material de análisis, en clase, así como de lectura adicional para realizar proyectos de seminario y en grupo. Algunos de los nuevos programas y cursos para la enseñanza científica suelen incluir también este tipo de reimpressiones, con objeto de ampliar el alcance de la temática inserta y de dar un matiz histórico, humanístico y procesal a la misma.

Es muy importante, y como se ha puesto de manifiesto en diferentes ocasiones (11), plantear una serie de problemas y cuestiones acerca del material histórico utilizado. De esta manera, es posible guiar el razonamiento del alumnado por vías discursivas e interpretativas. Las cuestiones pueden centrarse en algunos de los siguientes puntos:

- Reconocimiento y análisis de hipótesis interpretativas.
- Estudio de los procedimientos experimentales seguidos por el investigador.
- Planteamiento de posibles vías alternativas de investigación.
- Entronque del proceso científico en cuestión dentro de la época histórica de que se trate (con su problemática social, filosófica, etc.). Este último aspecto puede dar pie a una interesante colaboración interdisciplinaria con el profesorado de las ramas humanísticas del centro.

VIII.4. RESUMEN DEL CAPITULO

Comienza el capítulo con un análisis de los enfoques de Kuhn y de Price al estudio de la historia de la ciencia. Este análisis pone de manifiesto algunas líneas maestras de la evolución conceptual y cuantitativa del edificio científico, de interés para apreciar mejor el carácter y la naturaleza del mismo.

Dados los aspectos evolutivos y dinámicos del cuerpo de la ciencia, se presentan diferentes métodos históricos para la enseñanza científica que ponen de relieve el carácter cambiante y procesal del esfuerzo investigador. Además, con dichos métodos es posible poner el acento en la compleja problemática de las interrelaciones ciencia-sociedad, ciencia-filosofía y ciencia-economía, que tantos valores encierra para una formación completa y humanística. Se aboga por una enseñanza relevante y no trivial, para lo cual es de sumo interés una participación activa del alumnado y un adecuado dominio de la realidad histórica de la ciencia, por parte del profesor.

CUESTIONES DE APLICACION Y AUTOEVALUACION

1. Dado el elevado índice de crecimiento del cuerpo científico, estudiado en el primer apartado del capítulo, analice con detalle las posibles implicaciones del mismo sobre la estructuración del currículum científico. Puede ayudarse, en dicho análisis, del material incluido en el capítulo 9.º.

2. Reflexione sobre los siguientes puntos, relacionados con la temática tocada en este capítulo:

- Modos de integración de los enfoques históricos dentro del contexto de la enseñanza científica. ¿A qué niveles son más asequibles? ¿Qué modalidades, de las varias discutidas, se adecúan mejor a sus posibilidades docentes?
- Modos de evaluar los resultados obtenidos mediante la utilización de la metodología histórico-didáctica.

- Dificultades de orden práctico que se pueden oponer a la utilización del enfoque 5.º (Experimentos históricos) y al 6.º (Estudio de trabajos y publicaciones originales).

3. Consiga algún libro de Historia de la Ciencia (concretamente, de la rama que tiene usted encomendada), y estructure un «caso histórico» para la enseñanza de un determinado tema. En esta estructuración, debe incluir los siguientes aspectos:

- Contenidos descriptivos y materiales de lectura para los alumnos.
- Aspectos sociopolíticos, conceptuales, culturales y tecnológicos del «caso».
- Búsqueda de hipótesis interpretativas de los procesos en estudio.
- Planteamiento de cuestiones para fomentar la participación y la reflexión de los alumnos.

4. A partir del análisis histórico-filosófico de Kuhn (resumido en este mismo capítulo, así como en el 2.º), extraiga conclusiones didácticas pertinentes. Reflexione acerca de diferentes modos didácticos que faciliten la consecución de una imagen evolutiva y no dogmática del proceso científico. Procure hacer uso de estos procedimientos, de tal manera que rodee sus clases de una atmósfera «histórica» e infunda una percepción crítica del valor relativo de los contenidos científicos.

5. El modelo de Price supone la concepción de un crecimiento acumulativo de la ciencia. Kuhn, por contraste, se imagina un crecimiento discontinuo y «a saltos». ¿Cómo compaginaría ambas opiniones? Procure enriquecer su percepción de la historia de la ciencia, mediante la lectura de obras de interés, e intente construir una imagen pedagógicamente válida de la misma.

REFERENCIAS

- (1) KUHN, T. S. *La estructura de las revoluciones científicas*. Ed. Tecnos, Madrid, 1966 (también traducida por F. C. E., Méjico). Ed. original: *The Structure of Scientific Revolutions*, Chicago Univ. Press, 1964 (2.ª ed., 1970).
- (2) PRICE, D. J. S. *Hacia una ciencia de la ciencia*. Ed. Ariel, Barcelona, 1973 (ed. original: *Little Science, Big Science*, Columbia Univ. Press, 1963).
- (3) TORRES, E. «Dimensión histórica de la enseñanza de la ciencia», en *Cuadernos de Pedagogía*, Núm. 7-8, pp. 56-58 (1975).
- (4) FERNANDEZ URÍA, E. «Los métodos históricos en la enseñanza de las ciencias», en *La Educación Hoy*, Vol. II, Núm. 11, pp. 425-430 (1974).
- (5) STEINER, R. L. «Humanizing Chemistry Through its History», en *School Science and Mathematics*, Vol. LXXVI, Núm. 1, pp. 32-40 (1976).
- (6) KLOPFER, L. E. «The Teaching of Science and the History of Science» en *Journal of Research in Science Teaching*, Vol. VI, Núm. 1, pp. 87-95 (1969).
- (7) SCHWAB, J. J. «The Teaching of Science as Enquiry», en *The Teaching of Science*, Harvard Univ. Press, 1962.
- (8) NASH, L. K. «The Use of Historical Cases in Science Teaching», en *General Education in Science*. (I. Bernard Cohen, F. G. Watson, eds.), Harvard Univ. Press, 1952. Los «casos» utilizados por Conant se hallan recogidos en el trabajo *Harvard Case Histories in Experimental Science* (2 vols.), editado por J. B. Conant, Harvard Univ. Press, 1965 (1.ª ed. de 1957).
- (9) KLOPFER, L. E. *Case Histories and Science Education*, Wadsworth Pub. Co., San Francisco, 1966. Los «casos» publicados por Klopfer suman un total de 9 títulos (Science Research Associates, 1964-66).
- (10) AGIN, M. L.; PELLA, M. O. «Teaching Interrelationships of Science and Society Using a Socio-Historical Approach», en *School Science and Mathematics*, Vol. LXXII, pp. 320-33 (1972).
- (11) BAUMEL, H. B.; BERGER, J. J. «Teaching from Research Papers: An Approach to Teaching Science as a Process», en *The Science Teacher*, abril 1965, pp. 29-51.

BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTARIA

- ASIMOV, I. *A Short History of Chemistry*. Doubleday and Co., Nueva York, 1965. (Hay traducción).
- *Enciclopedia biográfica de ciencia y tecnología*. «Revista de Occidente», Madrid, 1971.
- BABINI, J. *Historia sucinta de la matemática*. Espasa-Calpe, Madrid, 3.ª ed., 1969.
- *Historia sucinta de la ciencia*. Espasa-Calpe, Col. Austral.

- BARNES, B. (ed.) *Sociology of Science*, Penguin Books, 1972.
- BEN-DAVID, J. *The Scientist's Role in Society*. Prentice-Hall, 1971.
- BERNAL, J. D. *Historia Social de la Ciencia*. 2 vols. Eds. Península, 1967.
- CROMBIE, A. C. *Historia de la ciencia* (3 vols.). Ed. Alianza, Madrid.
- CROSLAND, M. (ed.) *The Emergence of Science in Western Europe*. Mc Millan, 1975.
- FARRINGTON, B. *Ciencia y filosofía en la antigüedad*, Ed. Ariel, 1971.
- GARCIA CAMARERO, E. y E. *La polémica de la ciencia española*. Alianza Editorial, 1970.
- GOLDSMITH, M.; MACKAY, A. (eds.) *The Science of Science*. Penguin, 1966.
- GRANT, E. (ed.) *A Source Book in Medieval Science*. Harvard Univ. Press, 1975.
- HARTLEY, H. *Studies in the History of Chemistry*. Oxford Univ. Press, 1971.
- HOLTON, G. *Thematic Origins of Scientific Thought: Kepler to Einstein*. Harvard Univ. Press, 1973.
- HULL, L. W. H. *Historia y filosofía de la ciencia*. Ed. Ariel, Barcelona, 1973 (ed. original; Londres, 1959).
- KEARNEY, H. *Orígenes de la ciencia moderna: 1500-1700*. Ed. Guadarrama, Madrid.
- LEICESTER, H. M. *Panorama histórico de la Química*. Ed. Guadarrama, Madrid, 1967.
- LOPEZ PIÑERO, J. M.^o *La introducción de la ciencia moderna en España*. Ed. Ariel, Barcelona, 1969.
- MACH, E. *Desarrollo histórico-crítico de la Mecánica*. Ed. Espasa-Calpe, Madrid (ed. original, de 1883).
- MIELI, A.; BABINI, J.; PAPP, D. *Panorama General de Historia de la Ciencia* (12 libros). Espasa-Calpe, Madrid.
- OGDEN, W. R. «Teaching Science: A Case for a Socio-Historical Approach» en *School Science and Mathematics*, Vol. LXXV, Núm. 2, pp. 167-172 (1975).
- PAPP, D. *Historia de la Física*. Ed. Espasa-Calpe, Col. Austral.
- RAMON Y CAJAL, S. *Los tónicos de la voluntad*. Ed. Espasa-Calpe, Col. Austral, 1971 (ed. original, de 1941).
- ROSTAND, J. *Introducción a la Historia de la Biología*. Ed. Península, Madrid, 1966.
- STENECK, N. H. *Science and Society: Past, Present and Future*. Univ. of Michigan Press, 1975.
- ZIMAN, J. *Public Knowledge: The Social Dimension of Science*. Cambridge Univ. Press, 1968.

IX. PROGRAMACION Y CONSTRUCCION DEL CURRICULUM (1)

IX.1. CONCEPTOS BASICOS

En un sentido restringido se suele identificar «programa» con un conjunto organizado de contenidos a transmitir, y «currículum» con una serie de materias escolares superadas y de actividades académicas y profesionales llevadas a cabo. En este libro vamos a adoptar una definición más amplia, y más acorde con la línea seguida en la mayoría de los países (sobre todo, los anglosajones).

Denominaremos *currículum* (en nuestro caso, se trataría de analizar el currículum científico) al conjunto estructurado de objetivos, actividades escolares y paraescolares, y métodos didácticos y de evaluación englobados en una secuencia concreta de un curso académico, o a lo largo de varios cursos sucesivos. Así, el currículum científico en el Bachillerato, pongamos por caso, estaría constituido por las materias dentro del área de las ciencias de la naturaleza (Física, Química, Biología...) que deben superar todos, o parte de los alumnos.

Denominaremos *programación* a un conjunto de técnicas específicas que conviene tener en cuenta para estructurar de forma coherente todo o parte del currículum escolar dentro de un nivel determinado. La programación, en este sentido, puede ser de diferentes tipos:

— *Programación larga*, con la cual se pretende estructurar y distribuir convenientemente los contenidos y procesos didácticos de una asignatura concreta a lo largo de un año escolar o de una parte del mismo (un trimestre, por ejemplo).

— *Programación corta*, referida a una unidad didáctica, o bien a un período de clase (*).

— *Programación horizontal*, realizada por el profesorado de las distintas materias o asignaturas englobadas en un nivel concreto (profesorado de Ciencias, de Letras, de Idiomas...). Se persigue en este caso coordinar convenientemente la enseñanza de las distintas materias, de forma que no surjan desfases inadecuados. También se pretende localizar las dificultades de aprendizaje de algunos alumnos en áreas conflictivas, y procurar un equilibrio entre las exigencias de los distintos profesores.

— *Programación vertical*, de una asignatura determinada, a lo largo de las distintas etapas de su enseñanza. Así, la programación del Área de Ciencias a lo largo de toda la segunda etapa de la Educación Básica, de la Física y Química en los cursos 2.º y 3.º del Bachillerato y en el Curso de Orientación Universitaria.

— *Programación interdisciplinar*. En gran medida puede incluirse dentro de la horizontal, pero es más precisa y tiene unas características propias. Se realiza entre dos o más asignaturas con objeto de localizar puntos de contacto o aspectos que se pueden estudiar simultáneamente desde distintos puntos de vista. Dado que se ha aludido con amplitud en los capítulos 3.º y 4.º a este área de la programación, no nos detendremos aquí en ella.

Las etapas básicas a seguir en todo proceso de programación-diseño del currículum son las siguientes (2):

- 1.º Delimitación de los *objetivos* educacionales a conseguir.
- 2.º Planificación de *métodos didácticos* y de experiencias de aprendizaje congruentes con los objetivos perseguidos.

(*) Definimos unidad didáctica como la fracción del curso que engloba un conjunto de contenidos coherente y con entidad propia. Su duración es variable, pudiendo ir desde una semana o menos, a varias semanas. Ejemplos: Cinemática (en un curso de Física); Disoluciones (en uno de Química); Insectos (en un curso de Biología); etc.

- 3.º *Evaluación*, con objeto de precisar el grado de consecución de los objetivos didácticos, así como de localizar los puntos flacos del programa diseñado (ver el capítulo siguiente).

La primera etapa (delimitación de objetivos) es la más delicada, y la que ofrece más dificultad para los profesores poco versados en las técnicas de programación; es, a pesar de ello, de suma importancia, dado que sin unas metas claramente trazadas se corre el peligro de improvisar y de desperdiciar energías por derroteros secundarios y carentes de dirección definida.

La segunda y tercera etapas deben ser congruentes y consistentes con la naturaleza de los objetivos de aprendizaje. Así, si se pretende lograr un cierto nivel de desarrollo de la capacidad de razonamiento científico convendrá arbitrar procedimientos adecuados en esa línea. Simultáneamente, la evaluación versará sobre dicho razonamiento o capacidad discursiva, y no sobre aspectos desatendidos en el proceso didáctico. Esta observación, a pesar de su carácter básico y a pesar de ser ampliamente conocida y discutida en numerosos ambientes, no siempre es tenida en cuenta de forma adecuada en los niveles prácticos.

En la programación de métodos didácticos y de experiencias de aprendizaje conviene tener en cuenta los siguientes factores:

— *Situaciones de aprendizaje*. Convendrá precisar qué aspectos pueden ser enfocados mediante exposición-discusión en gran grupo, cuáles mediante el trabajo en pequeños grupos y cuáles mediante el trabajo individual. En el apartado de este capítulo dedicado a la «bibliografía complementaria» se incluyen algunos libros de interés en este sentido.

— *Material didáctico* utilizable, tanto audiovisual y bibliográfico como de laboratorio (cf. capítulo 7.º).

— *Distribución temporal* de las situaciones de aprendizaje. Es decir, interesa hacer una distribución del tiempo total asignado a la unidad didáctica, de acuerdo con la importancia y

dificultad de los distintos objetivos parciales integrados en dicha unidad.

Es el conjunto de objetos, jerárquicamente organizados, así como la secuenciación de los procedimientos didácticos, lo que contribuye a *dotar de estructura* a un currículum determinado. Se evitan de esta manera improvisaciones lamentables, como ha hecho notar Schwab al afirmar que: «los cursos —materias o asignaturas— aislados son a veces el resultado de pensamientos felices, pero raramente se les dedica el análisis reflexivo y crítico que dedicamos a nuestras producciones académicas... Las secuencias y agrupamientos de materias se apoyan sobre la tradición y la inercia, y sólo en contadas ocasiones son examinados» (3).

Es el problema de la *estructura* el que con más intensidad se ha estudiado en los últimos años, en lo que se refiere a la programación de la enseñanza científica. A él dedicaremos gran parte de nuestra atención a lo largo de los siguientes apartados.

IX.2. PROGRAMACION DE OBJETIVOS

En la toma de decisiones respecto a los objetivos que interesa incluir en las sucesivas fases de la programación escolar (programaciones vertical, larga, interdisciplinar y corta) son varios los factores que conviene tener en cuenta, siendo diferente el peso específico de cada uno de ellos en diferentes enfoques pedagógicos. Estos factores pueden dividirse en los siguientes tipos:

— Concepciones filosóficas de la educación defendidas por cada profesor en particular, o por el centro educativo donde se lleva a efecto la programación. Las concepciones e intereses políticos de una sociedad determinada pueden ser también fuente de presión o de motivación para incluir determinados objetivos pedagógicos.

— Nivel de desarrollo y maduración de los alumnos. No tendrían igual profundidad, pongamos por caso, los objetivos:

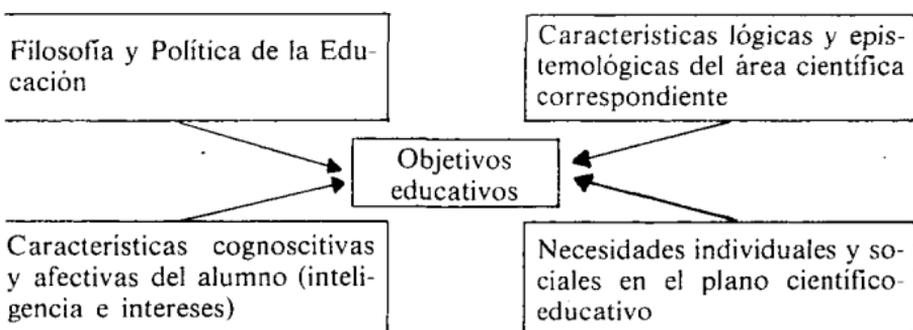
de la enseñanza científica en la Educación Básica que en el Bachillerato o en la Educación Superior; lo mismo cabría decir de las diferentes etapas y subniveles dentro de cada nivel educativo.

— Características propias de la asignatura o materia escogida de que se trate. Así, los objetivos pueden muy bien ser de distinta índole en la Física que en las Ciencias Naturales.

— Intereses y necesidades concretas de los alumnos a los cuales se destina la programación. De esta forma, conviene tener en cuenta si el centro escolar está ubicado en zona urbana o rural, si el nivel educacional es el básico, el secundario o el superior, si se trata de hacer énfasis en aspectos de tipo profesional, etc.

— Necesidades de tipo social. Aunque respetamos al máximo la iniciativa individual y de centro escolar, en cuanto a la adopción de objetivos se refiere, no hay que olvidar que la educación es una actividad de naturaleza fundamentalmente social. En el caso de la enseñanza científica, que es la que nos incumbe aquí, es necesario que la mayor parte de la población esté dotada de unos conceptos y de unas estructuras de razonamientos básicos, dado que el armazón tecnológico e industrial de todo país moderno se sustenta sobre saberes de orden científico. No nos detenemos más en este punto, dado que se ha abordado suficientemente en los capítulos 3.^o y 4.^o; remitimos al lector, asimismo, al capítulo 1.^o, en el cual se analizan brevemente los aspectos personales y sociales de la enseñanza científica.

En el esquema que sigue se recogen, sintetizados, los puntos que acabamos de exponer:



Este esquema, para ser completo, debería reflejar asimismo el conjunto de *condicionamientos* profesionales y materiales con que se enfrenta el profesorado en su quehacer docente. Estos condicionamientos, aunque pesan más sobre la dificultad de adoptar determinados enfoques metodológicos y didácticos, pueden ejercer también influencias importantes sobre el conjunto de objetivos. Un centro, pongamos por caso, escasamente dotado de instalaciones y de material de laboratorio, no sería un lugar idóneo para desarrollar la capacidad manipulativa e investigadora de los escolares (caso de que se haya planteado el desarrollo de esta capacidad como un objetivo de interés en la educación científica).

Un condicionamiento muy fuerte también lo constituye el conjunto de *programas oficiales* de contenidos que, en ocasiones, dificulta la libertad de acción del profesorado de una forma evidente. En relación con este último punto, debemos recordar una vez más la necesidad de dar *orientaciones* de tipo general, dado que la enseñanza cumple una función social. Surgirían muchos problemas, evidentemente, si accedieran a un nivel educativo superior alumnos con una formación muy dispar y heterogénea, sobre todo en el campo de las ciencias, y de ahí la necesidad de *dar coherencia y estructura* al conjunto de programas. Esta estructura conviene que sea realista, sin embargo, y no debería impedir ni dificultar la toma de decisiones individuales y grupales en los diferentes centros escolares, de acuerdo con los recursos humanos y materiales de que dispongan, y de acuerdo también con la problemática específica del entorno sociocultural de dichos centros.

Supongamos que se tienen en cuenta las observaciones anteriores en la adopción de una serie de objetivos educativos formales o generales. Otra pregunta surgiría seguidamente, una vez superada esta primera fase. ¿Cómo se articulan los objetivos de una forma precisa y concreta? En relación con este punto remitimos al lector al capítulo 1.^o, en el cual se han planteado cuatro niveles distintos:

- 1.^o Conjunto de *conocimientos* (contenidos).
- 2.^o Conjunto de *destrezas mentales* (objetivos de conducta).

3.^o Conjunto de *destrezas manuales* (campo psicomotor).

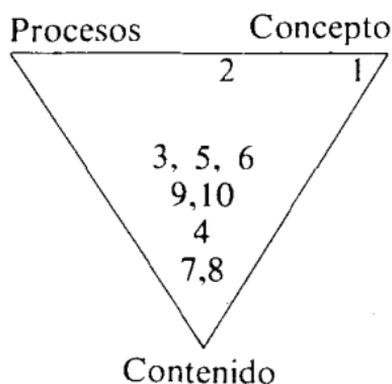
4.^o Conjunto de *actitudes e intereses* de tipo científico.

Los cuatro niveles deben ser tomados en consideración, si interesa lograr una formación lo más integral y completa posible de los escolares. De esta forma sería muy pobre una enseñanza de contenidos si no se tiene en cuenta el desarrollo de la capacidad discursiva y crítica, ni el de la habilidad manual (destrezas de laboratorio). Las metas logradas se destruirían rápidamente, por otra parte, si no se procura despertar el interés por la asignatura y fomentar el desarrollo del espíritu crítico-constructivo.

Si las destrezas manuales y operativas se engloban junto con las mentales en lo que se ha dado en llamar *procesos científicos*, en contraposición a los contenidos o productos, y si dejamos un poco al margen los objetivos de tipo afectivo (actitudes e intereses), la estructura curricular deberá articularse con base en el siguiente triángulo (4):



Los conceptos pueden ser de varios tipos (leyes, principios, generalizaciones), así como los contenidos (aplicaciones, ejemplos, terminología, nomenclatura). Diferentes estructuras curriculares, en el campo de las ciencias, han hecho distinto énfasis en cada uno de los tres vértices, pudiéndose situar en el lugar correspondiente del triángulo de acuerdo con este énfasis prioritario. Así, los proyectos Nuffield pueden ubicarse, de acuerdo con Hall, en los siguientes puntos:



1. Física, nivel O (ordinario).
2. Física, nivel A (avanzado).
3. Química, nivel O.
4. Química, nivel A.
5. Biología, nivel O.
6. Biología, nivel A.
7. Ciencia Física.
8. Ciencia Combinada.
9. Ciencia Secundaria.
10. Ciencia Integrada Escocesa.

Algunos factores de tipo estructural, que también deben ser tenidos en consideración en la programación de los objetivos de un curso de ciencias determinado, son los siguientes:

1. El curso a programar es común a todos los alumnos, con independencia de sus futuras especializaciones profesionales o vocacionales (caso de las Ciencias Naturales, en el curso 1.º del Bachillerato, o de la Física y Química, en el 2.º) (*).

2. La asignatura es optativa o bien es escogida voluntariamente por un sector concreto de los alumnos, probablemente con finalidades de orientación o de elección profesional. Ejemplos: el caso de la Biología en el Curso de Orientación Universitaria, o el de la Física y Química en el curso 3.º del Bachillerato.

3. La asignatura (o curso) se supone completa en sí misma, o bien forma parte de una secuencia o conjunto integrado. Así, la Física P.S.S.C., en los Estados Unidos, se estructuró como curso independiente o completo en sí mismo. Los cursos Nuffield, sin embargo, se articulan a lo largo de varios años del proceso educativo inglés (y de ahí su secuenciación de objetivos, teniendo en cuenta el desarrollo y la maduración progresivos del alumno).

En el caso de que la asignatura forme parte de una secuencia, por ejemplo, la asignatura de Física y Química en el Ba-

(*) Queremos llamar la atención sobre la terminología utilizada en este libro. En este sentido, utilizamos la palabra «curso» de forma sinónima a «materia» o «asignatura».

chillerato, los objetivos a un nivel concreto (tanto conceptuales, como de contenidos y procesales) deben articularse sobre los del nivel anterior. Quiere esto decir que no se debe pretender conseguir un objetivo complejo, si no se han dominado previamente los aspectos más básicos sobre los que se apoya el mismo. Sobre este punto volveremos más adelante.

IX.3. LA FILOSOFIA DE LA CIENCIA Y LA PROGRAMACION DE OBJETIVOS

En el capítulo 2.º, como se recordará, hemos realizado un análisis sobre las características del proceso científico, de interés para plantearse de forma coherente la enseñanza en los distintos niveles. Entonces aludimos a las incidencias que, sobre la implantación de enfoques didácticos, han tenido diferentes concepciones filosóficas de la Ciencia. Recomendamos al lector revisión de las ideas expresadas en dicho capítulo, dada la relación de las mismas con el problema que nos atañe en este apartado.

Una idea apuntada con énfasis entonces se centraba en la necesidad de *transmitir una imagen coherente y fidedigna del edificio científico*. Este edificio conceptual y metodológico, reflejado parcialmente en los libros de texto, está integrado por un conjunto de contenidos, relacionados y articulados entre sí, y derivados a partir de una serie de procesos y métodos de investigación e indagación. Se trata, claramente, de que el alumno adquiriera una conveniente conceptualización de estos elementos estructurales, así como de sus características lógicas y epistemológicas y de las interrelaciones existentes entre ellos.

Nos enfrentamos, sin embargo, con un problema de gran envergadura: el edificio científico es extraordinariamente rico y variado, y se está engrandeciendo a ritmo creciente, sobre todo a partir de los comienzos del siglo XVII. En otro lugar hemos aludido ya al carácter acumulativo de la ciencia, llegándose a cifrar en unos diez o quince años, aproximadamente, el periodo de duplicación de conocimientos nacidos de la investi-

gación científica (*crecimiento exponencial* de las ciencias experimentales). ¿Qué criterios —cabe preguntarse— se han de adoptar para *seleccionar* los elementos de más relevancia para la formación de los escolares? La acumulación desmesurada de saber a lo largo del último medio siglo ha ocasionado un notable desfase entre los saberes de vanguardia y los saberes transmitidos en los niveles elementales y secundarios. Así, la mayoría de los conceptos incluidos en la enseñanza de la Física pertenecen a épocas anteriores al siglo actual y, en el caso de la Química, a los años finales del siglo XIX y comienzos del periodo presente. Y esto sin tener en cuenta la posibilidad de incluir conceptos de orden humanístico y tecnológico (historia de la ciencia, estudio de las interrelaciones ciencia-sociedad...)

La simple yuxtaposición de conceptos y contenidos no es lo más conveniente en la línea de favorecer y facilitar el aprendizaje integrado. Es de la máxima importancia *dotar de estructura* al curriculum de una determinada zona educativa (las ciencias, en nuestro caso), según ha analizado Bruner (5); de acuerdo con este autor, la ventaja de las estructuras conceptuales radica en la simplificación del aprendizaje que conllevan, así como en la posibilidad de manipulación del cuerpo de conocimientos de que se trate. En sus propias palabras, «a menos que un detalle concreto se sitúe en un cuerpo estructurado, se olvidará rápidamente. Los detalles se pueden conservar en la memoria mediante el uso de modos simplificados de representación».

Para dotar de estructura y coherencia al edificio didáctico, es de máximo interés *analizar la naturaleza y el valor de los conceptos implicados* (ver el siguiente apartado). Raven (6) ha hecho un interesante análisis, en este sentido, a la luz de las investigaciones filosóficas de Margenau (7). Siguiendo a dicho autor, los conceptos científicos pueden estructurarse en tres órdenes diferentes:

- a) *Conceptos intuitivos* o de primer orden.
- b) *Conceptos instrumentales*.
- c) *Conceptos de orden superior*.

Los conceptos intuitivos se construyen a partir de un contacto sensible inmediato con la realidad circundante. Conceptos de este tipo serían los de luz, sombra, calor, frío, peso, animal, vegetal, sólido, líquido, etcétera. Los conceptos instrumentales se apoyan sobre una instrumentación de observación y medida de variable complejidad: así, los conceptos de masa, carga eléctrica, célula, etcétera. La mayor parte de los conceptos pueden ser aprehendidos de forma intuitiva o de forma operacional-instrumental. Es decir, existe una percepción de tipo intuitivo-simplista, y otra de tipo científico, de los mismos. El concepto de calor, pongamos por caso, puede formarse a partir de contactos sensibles (aspecto intuitivo, superficial o de primer orden), o bien a partir de una definición operacional cuantitativa (aspecto instrumental), en términos de la cantidad de energía transmitida por efectos térmicos o por diferencias termométricas.

En cuanto a los conceptos de orden superior, se apoyan éstos sobre una teorización más o menos profunda, o sobre determinados modelos interpretativos. Los conceptos de electrón, gen, campo electromagnético, partícula elemental, isomería, etcétera, podrían incluirse en este nivel. En el capítulo 2.º aludimos a la distinción existente entre las leyes de tipo fenomenológico (relacionando conceptos instrumentales), y las de tipo conceptual-deductivo (relacionando conceptos de orden superior). Sería conveniente la revisión de las ideas entonces apuntadas en relación con este punto.

En la enseñanza de las ciencias es de sumo interés procurar que los alumnos distingan claramente el carácter científico y epistemológico de los conceptos estudiados, así como su nivel de abstracción y las relaciones existentes con otros conceptos. Ya en el capítulo 2.º aludimos enfáticamente a este aspecto de la didáctica. Existe una cuestión, de gran trascendencia para la construcción del currículum en lo tocante a la introducción de determinados conceptos en la programación, la cual puede expresarse en los siguientes términos: ¿qué criterios se han de adoptar para escoger determinados conceptos, y rechazar o minusvalorar otros? Raven (6) ha discutido este punto, y ha planteado *seis condiciones fundamentales* para que un concep-

to merezca ser incluido de forma prioritaria en la estructura de contenidos; son éstas: fertilidad lógica, existencia de conexiones múltiples, permanencia y estabilidad, extensibilidad, simplicidad y elegancia y, finalmente, causalidad.

1. Un concepto es *lógicamente fértil* cuando puede ser objeto de manipulación de acuerdo con las leyes de la Lógica. Así, los conceptos de energía, fuerza, magnitud vectorial, etcétera, permiten el estudio de fenómenos de diferente índole, sean éstos de tipo electromagnético, gravitatorio y otros. La manipulación no tiene por qué ser necesariamente de tipo cuantitativo (por ejemplo, los conceptos de «orden», «clase» y «especie» pueden relacionarse unos con otros desde un punto de vista lógico). Esta fertilidad es importante porque, siguiendo a Raven, «posibilita la aplicación creativa de un concepto a fenómenos nuevos y permite su relación lógica con otros conceptos, en lo que se refiere a premisas, hipótesis y deducciones».

2. Las conexiones múltiples conllevan la existencia de relaciones multifacéticas entre un concepto y otros. En Física, por ejemplo, los conceptos de intensidad de corriente, resistencia, diferencia de potencial y fuerza electromotriz, están relacionados cuantitativamente entre sí. Un *concepto múltiple* es aquel que se relaciona con muchos otros y merece, por tanto, un lugar prioritario en la estructura curricular. El concepto de «enlace químico», pongamos por caso, es múltiple mientras que los de «cociente respiratorio», «hierro» y «seda artificial» son restringidos.

3. La *estabilidad y permanencia* suponen la posibilidad de supervivencia de determinados conceptos a cambios profundos en los órdenes histórico y teórico: aunque cambien los contextos científicos, conservan estos conceptos un alto grado de validez. Por ejemplo, los conceptos de energía, reacción química, fuerza, etcétera, que han sobrevivido a las revoluciones newtonianas, maxwelliana, einsteniana y mecano-cuántica. No ha ocurrido lo mismo con el concepto de «vida», el cual se ha alterado notablemente con ocasión de los últimos avances de la biología molecular, ni con los de «éter» y «flogisto».

4. La extensibilidad es la capacidad de aplicación de un concepto a una amplia gama de fenómenos. Todo concepto

múltiple es extensible, pero no a la inversa. Así, el de «energía» es múltiple y extensible; el de «grado de dureza», sin embargo, es extensible, pero restringido.

5. La *elegancia y simplicidad* se relacionan con la concisión y sencillez en la descripción e interpretación de la Naturaleza. Un objetivo básico del quehacer científico ha sido siempre el descubrimiento de leyes y la construcción de modelos que sintetizasen la gran variedad de observaciones y experiencias acumuladas y sistematizadas a lo largo de muchos años. Así, las leyes de la herencia de Mendel se ajustan a esta cualidad. Lo mismo cabe decir de los diferentes modelos astronómicos construidos a lo largo de la historia de la ciencia (los de Ptolomeo, Copérnico, Tycho-Brahe y Kepler), y de la hipótesis de Darwin sobre el origen de las especies. No ocurre otro tanto con la concepción Linneana de especie tipológica, ni con las minuciosas tablas astronómicas de los babilónicos o las múltiples observaciones sistematizadas por los alquimistas.

6. La *causalidad* describe la relación o asociación entre determinados fenómenos, y los efectos de los mismos sobre un sistema en estudio. Facilita, en este sentido, la *predicción* de sucesos y de secuencias. Por ejemplo, las leyes de Newton, la de Boyle-Mariotte y las de la estequiometría permiten calcular situaciones de movimiento, evoluciones volumétricas y procesos de producción de sustancias químicas.

De acuerdo con Raven, convendría tomar en consideración los seis aspectos anteriores para *dotar de estructura* al currículum científico, y las decisiones en torno a la elección de contenidos deberían apoyarse sobre dichas cualidades. Si se seleccionan, dentro del amplio espectro de los conceptos científicos existentes, aquéllos que den muestra de un alto nivel de fertilidad lógica y extensibilidad, y que estén ampliamente relacionados entre sí y con otros, se contribuirá a mejorar el aprendizaje básico y la retención. A la hora de programar una Unidad Didáctica, pongamos por caso, los objetivos deben planificarse estructuralmente, estableciendo un orden de prioridades (desde los fundamentales a los accesorios) así como un conjunto de nexos de unión y de interrelaciones entre los mismos.

El enfoque de Raven, con todo, es esencialmente *deductivo*,

y puede no resultar del agrado de todo el profesorado de Ciencias. Es, qué duda cabe, muy útil para lograr un aprendizaje efectivo de conceptos, pero no es práctico si se pretende asimismo transmitir una imagen coherente del proceso científico (cf. capítulo 6.º). Sin embargo, y como ha dicho Koertge (8), no conviene pensar que los enfoques heurísticos e inductivos sean necesariamente los mejores, desde un punto de vista práctico, y de ahí la conveniencia de reflexionar sobre las ideas antes apuntadas.

IX.4. ESTRUCTURAS DE PROGRAMACION Y DISEÑO DEL CURRÍCULUM CIENTIFICO

Vamos a centrarnos, en el caso de la programación vertical y la programación larga, en dos enfoques principales, conocidos como *programación longitudinal* y *programación cíclica*. En líneas generales, con la primera de ellas se pretende secuenciar linealmente el conjunto de conceptos y de objetivos incluidos, de forma que los más simples se introduzcan en los niveles o etapas iniciales, y los más complejos en los niveles superiores; suele estar asociada esta estructura curricular con los enfoques didáctico-inductivos, aunque es también perfectamente compatible con los enfoques deductivos. La programación cíclica se articula en torno a un conjunto de conceptos básicos, todos los cuales se constituyen en centro de interés de los diferentes cursos del currículum (aunque se estudian con diferente grado de complejidad, lógicamente).

En gran medida, el primero de estos dos enfoques se apoya sobre las ideas de Gagné, uno de los psicólogos que más influencia han ejercido sobre la didáctica elemental de las ciencias (9). Gagné ha enfatizado en numerosas ocasiones la necesidad de *secuenciar* el conjunto de objetivos y de contenidos, de tal manera que no se aborde la consecución de un objetivo complejo, si previamente no se ha logrado un adecuado nivel de destreza en relación con los objetivos básicos. Gagné, además, ha centrado su interés fundamentalmente sobre los *procesos* de orden científico (metodología), más que sobre la con-

ceptualización y acumulación de saberes. Sus ideas han dado luz al proyecto didáctico denominado *Science: A Process Approach* («La Ciencia: un enfoque procesal»), dedicado a los niveles elementales, y desarrollado bajo el patrocinio de la American Association for the Advancement of Science. La secuenciación de objetivos de conducta (o de los procesos) en este proyecto, es la siguiente:

1. Observación.
2. Clasificación.
3. Medición.
4. Comunicación.
5. Inferencia.
6. Predicción.
7. Reconocimiento de relaciones espacio-temporales.
8. Reconocimiento de relaciones numéricas.

A partir de este nivel, los objetivos que siguen se relacionan con procesos más integrados o comprensivos. Así:

9. Formulación de hipótesis.
10. Planteamiento de definiciones operacionales.
11. Control y manipulación de variables.
12. Experimentación.
13. Interpretación de datos.
14. Formulación de modelos.

Como es fácil apreciar en la lista anterior, el proyecto inspirado por Gagné se centra en los *procesos* y en la metodología científica, más que en los *productos* o contenidos. Interesa, en este enfoque, que el alumno sea capaz de realizar un conjunto de operaciones intelectuales (referidas a unos contenidos específicos, por supuesto), más que limitarse a asimilar conocimientos y conceptos. Se trata de una línea inductivo-experimental, bastante alejada de las ideas de Raven apuntadas en el anterior apartado. No vamos a discutir aquí las venjatas relativas de este enfoque curricular, dado que en el capítulo 6.º ya se han comparado las metodologías didácticas inductivas y

deductivas. Al lector compete realizar su propia síntesis y poner en práctica los sistemas más acordes con su idiosincrasia y con los materiales didácticos de que disponga. El proyecto Science-A Process Approach, por otra parte, conlleva una fuerte sincronización ciencias-matemáticas, dado que la mayoría de los procesos a desarrollar en el alumno implican una manipulación analítica de datos y variables; sobre este punto ya hemos reflexionado en el capítulo 4.º, como se recordará. En el capítulo 6.º, además, se ha aludido al carácter secuencial de la resolución de problemas, siguiendo a Gagné, y a él remitimos nuevamente al lector.

El proceso de programación-construcción del curriculum de tipo longitudinal comporta, en esencia y de acuerdo con lo anterior, las siguientes fases:

- 1.º Definición precisa de *objetivos de conducta finales*.
- 2.º Análisis de los objetivos y estructuración de los procesos previos necesarios para llegar a dominar los objetivos superiores o finales («análisis de tareas»).
- 3.º Secuenciación de los *objetivos parciales* de forma congruente y adecuada al dominio de los finales.
- 4.º Evaluación constante del proceso y de las etapas intermedias, con objeto de no introducir los niveles superiores sin un adecuado dominio de las etapas previas.

En alguna medida, la psicología de Gagné y sus implicaciones didácticas emanan un cierto aire conductista que las ha desprestigiado ante muchos educadores y pedagogos. No obstante esto, sus ideas pueden ayudar a reflexionar sobre la *estructura del curriculum científico*, y la *necesidad de integrar y organizar convenientemente el conjunto de objetivos*. Esta organización, sin embargo, no conviene que sea rígida hasta el extremo de dificultar el desarrollo de otras vías o caminos didácticos más flexibles, humanistas y evolutivos. Por otra parte, recordemos una vez más que el enfoque de Gagné es esencialmente procesal, al centrarse en los métodos y los procesos, más que en los contenidos. Se puede programar longitudinalmente también los conceptos y contenidos de las asignaturas.

naturas, de tal manera que se introduzcan gradualmente, según su complejidad y dependencia de otros previos. Por exigencias de espacio disponible, sin embargo, no vamos a detenernos en este aspecto.

En las estructuras de programación cíclica se procura extraer o tamizar un conjunto de conceptos básicos, los cuales se introducen repetitivamente en los distintos niveles curriculares, aunque con diferente grado de profundización e introspección. Un enfoque en esta línea es el conocido como *enfoque por esquemas conceptuales*, los cuales son principios o conceptos básicos, en torno a los cuales se articula el currículum. Así, la Asociación Nacional de Profesores de Ciencias, en los Estados Unidos, ha propuesto tentativamente los siguientes siete esquemas conceptuales prioritarios (10):

I. La materia se compone de unidades llamadas partículas elementales; bajo ciertas condiciones, estas partículas pueden transformarse en energía, y viceversa.

II. La materia se estructura en forma de unidades, las cuales pueden clasificarse en jerarquías de complejidad creciente.

III. La evolución de la materia en el Universo se puede describir sobre una base estadística.

IV. Las unidades de materia interactúan entre sí. Las bases de las interacciones ordinarias son las fuerzas de tipo electromagnético, gravitatorio y nuclear.

V. Las unidades de materia interactuantes tienden hacia estados de equilibrio en los que el contenido energético (entalpía) es mínimo, y la distribución de energía (entropía) alcanza un máximo nivel de azar. En el proceso de evolución hacia el equilibrio tienen lugar transformaciones de materia-energía. Sin embargo, la suma de materia y energía se mantiene constante en el Universo.

VI. Una de las formas de energía es el movimiento de las unidades materiales. Dicho movimiento es responsable del calor y de la temperatura, así como de los estados de agregación de la materia: sólido, líquido y gaseoso.

VII. Toda la materia existe en el espacio y en el tiempo y, dado que tienen lugar interacciones entre sus unidades estruc-

turales, está sometida a ciertos tipos de cambios temporales. Dichos cambios pueden tener lugar con diferentes ritmos y de formas muy diversas.

El enfoque por esquemas conceptuales cumple dos objetivos formativos importantes: por una parte supone una periódica revisión de los conceptos básicos a diferentes niveles (ciclicidad) y, por otra, comporta una visión unificada e integrada de la ciencia (este segundo aspecto se analiza brevemente en el siguiente apartado). Los defensores de este enfoque propugnan una integración en la didáctica de las ciencias, dado que las diferentes ramificaciones (Física, Química, Biología...) tienen aspectos estructurales y metodológicos comunes. Sin embargo, así como en el enfoque longitudinal del Science-A Process Approach se hacía énfasis en la metodología (procesos), en este otro se polariza la atención sobre los conceptos y los contenidos (productos).

Paul Brandwein (11) ha diseñado una estructura curricular sustentada sobre seis esquemas conceptuales básicos, lo que facilita la realización de una programación interdisciplinar coherente entre las diferentes ramas científicas, así como la introducción de enfoques integrados (ver, en este sentido, el apartado siguiente). Los esquemas de Brandwein son:

- I. La energía no se crea ni se destruye: se transforma.
- II. En los procesos químicos la materia no se crea ni se destruye: se transforma.
- III. Los seres vivos intercambian materia y energía con su entorno, y con otros seres vivos.
- IV. Los seres vivos son el producto de la herencia y del entorno.
- V. Los seres vivos están sometidos a cambios constantes.
- VI. El Universo está sometido a cambios constantes.

Estos seis esquemas se repetirían en los sucesivos niveles educativos (etapas básicas, secundarias y superiores), aunque tocando aspectos distintos y con diferente profundidad en cada caso. Así, el esquema conceptual IV se centraría en los siguientes conceptos en los sucesivos años de escolarización: los seres vivos se reproducen; los seres vivos relacionados se reproducen en forma similar; un ser vivo se reproduce y desa-

rolla en un cierto medio ambiente; la célula es la unidad estructural y funcional; las características de un ser vivo se transmiten mediante códigos genéticos; etcétera. La ciclicidad del enfoque de Brandwein se localiza en la sucesiva atención prestada a los mismos esquemas conceptuales, con independencia del nivel en que se encuentre el escolar.

No todos los autores se han manifestado de acuerdo con este esquema totalmente cíclico. Aunque Bruner (recordemos sus ideas apuntadas en el capítulo 5.^o) ha defendido la hipótesis de que es posible enseñar casi todos los conceptos o temas básicos en las diferentes etapas del desarrollo evolutivo (ajustándose, eso sí, a las características psicológicas de las mismas), Ausubel se ha opuesto en gran medida (12). Sus observaciones más destacadas en este sentido serían las siguientes:

1.^o Los esquemas cíclicos falsifican sobremanera la verdadera naturaleza del proceso científico. No reflejan el carácter procesal de la investigación, y recogen solamente las componentes conceptuales.

2.^o No se puede forzar la entrada de las diferentes «ciencias» (Física, Biología, etcétera) dentro de un mismo marco conceptual, dadas sus naturales diferencias estructurales y metodológicas (ver, en relación con este punto, el apartado siguiente).

3.^o Por tratarse de un enfoque fundamentalmente deductivo, no se tiene suficientemente en cuenta la psicología del aprendizaje del alumno. Es falso que se puedan enseñar los mismos esquemas en las diferentes fases de desarrollo, dadas las diversidades existentes en relación con los modos de aprendizaje y las estructuras de conceptualización.

En principio, no convendría utilizar enfoques únicamente longitudinales o solamente cíclicos. Una *conjunción de ambos métodos* sería lo más conveniente, dadas las ventajas relativas que ofrecen y que no es práctico desdeñar. Así, es muy interesante introducir los mismos temas o conceptos de nuevo, aunque ya se hayan visto en los niveles inferiores (no solamente para facilitar el refuerzo de aprendizaje, sino también para lograr una mayor profundización). Por ejemplo, sería una postura absurda enseñar Dinámica en el curso 2.^o de Bachillerato

y no enseñarla en el Curso de Orientación Universitaria argumentando su introducción previa en el currículum científico. Por otra parte, existen aspectos de carácter más longitudinal, que no es necesario repetir en niveles superiores y que pueden secuenciarse a lo largo de las distintas etapas de escolarización.

IX.5. ENFOQUES INTEGRADOS Y UNIFICADOS

Una de las tendencias más destacadas en la panorámica de la enseñanza científica a lo largo de los últimos años radica, indudablemente, en la introducción masiva de enfoques unificados e integrados. Con objeto de utilizar una terminología coherente en este aspecto, vamos a definir a continuación algunos de los vocablos más usuales antes de pasar a analizar la problemática aquí implicada. Seguiremos en lo fundamental las concepciones recientemente expresadas por Ost (13):

— *Interdisciplinaridad*. Se engloban aquí los esfuerzos curriculares tendentes a enlazar y programar conjuntamente la enseñanza de conceptos relativos a disciplinas o campos del saber diferentes. En el capítulo 4.º hemos aludido ya a este aspecto de la didáctica de las ciencias, como se recordará sin duda. También en el capítulo 3.º se han tocado algunos puntos de interés.

— *Unificación e integración*. Con frecuencia se alude a la enseñanza unificada de las ciencias, refiriéndose a las diferentes tendencias didácticas que consideran a las áreas científicas separadas como ramas procedentes de un mismo tronco común. Se procura, en esta línea, romper las barreras entre las disciplinas, y enseñar la ciencia como un cuerpo único y coherente. En Inglaterra se suele utilizar más el término *ciencia integrada*, mientras que en los Estados Unidos se habla de *ciencia unificada*. Más adelante analizaremos con cierto detalle las características de estas tendencias.

— *Correlación*. Este término se usa para describir los intentos didácticos y curriculares encaminados a relacionar operaciones mentales, hábitos, métodos y conceptos integrados en

la estructura de disciplinas diferentes. Estas disciplinas, sin embargo, conservan su identidad propia. Fundamentalmente, se utiliza el término «correlación» para referirse a la de las matemáticas con las restantes áreas educativas. Así, se ha abogado con frecuencia (14) por una enseñanza de las Matemáticas que haga uso de ejemplos y problemas extraídos de las restantes materias escolares (ver el capítulo 4.º). En el capítulo 3.º se ha tocado parcialmente el problema de la correlación entre la enseñanza científica y la tecnológica.

— *Coordinación.* Los programas coordinados se encuentran a caballo entre los tradicionales y los unificados o integrados. En este caso, cada disciplina conserva su identidad propia, pero se procura que los conceptos que se han explicado en alguna de ellas no se repitan en las restantes. Es un enfoque práctico, con el cual se quieren evitar redundancias y repeticiones, pero que no comporta ninguna teoría pedagógica o integracional específica. Se suele hablar, por ejemplo, de la coordinación de la enseñanza científica y la matemática, cuando se introducen en las clases de esta última los conceptos y las operaciones necesarias para el aprendizaje de las ciencias (cf. el capítulo 4.º).

— *Resolución comprensiva de problemas.* El método de proyectos podría encajar aquí en parte. En este enfoque, se proponen a los alumnos diferentes problemas de orden teórico o práctico-aplicado, para resolver los cuales es necesario hacer uso de conceptos y de técnicas pertenecientes a asignaturas o áreas distintas.

Con objeto de precisar más los términos anteriores, ofrecemos seguidamente algunos ejemplos de orden didáctico:

- Estudio de las implicaciones sociales de la ciencia nuclear. Puede abordarse el mismo en un seminario interdisciplinar, o en grupos de clases desarrolladas por profesores de ciencias y de ciencias sociales del centro educativo, en la línea del «team-teaching» (interdisciplinariedad).
- Sustitución de las asignaturas de Ciencias Naturales (del curso 1.º del Bachillerato) y de Física y Química del

curso 2.º, por dos asignaturas secuenciadas de ciencia integrada (integración o unificación).

- Explicación del cálculo diferencial utilizando ejemplos físicos tomados de la Cinemática (correlación matemáticas-ciencias).
- Explicación de conceptos científicos utilizando ejemplos extraídos de la tecnología (correlación ciencia-tecnología).
- Acuerdo entre el profesorado de Ciencias y el de Matemáticas, para que determinados aspectos de este último campo sean abordados de forma prioritaria, dado su carácter instrumental para la enseñanza científica (coordinación ciencias-matemáticas).
- Acuerdo entre el profesor de Química y el de Biología para que se enseñen determinados aspectos de la Química Orgánica que sean de utilidad para el aprendizaje de la Bioquímica (coordinación biológica-química).
- Resolución de un proyecto de diseño de carácter tecnológico en el campo de las Actividades Técnico-Profesionales, haciendo uso para ello de conocimientos adquiridos en el estudio de la Física y de las Matemáticas (resolución comprensiva de problemas).

En el apartado anterior se han presentado algunas estructuras curriculares que están notablemente imbuídas de conceptos unificativos o integrativos. Así, el proyecto longitudinal *Science-A Process Approach* se centra en los procesos científicos, sin tomar en consideración los tabiques o separaciones existentes entre las distintas ramas de la ciencia. No se pretende, en este proyecto, enseñar biología o matemáticas, o física, sino *ciencia*, entendida como un todo unificador, con unos procedimientos metodológicos bien definidos. Las matemáticas, por ejemplo, se integran en dicha estructura comprensiva como una poderosa herramienta de cálculo, y se aprenden paralelamente al aprendizaje de conceptos y métodos de orden científico (cf. el capítulo 4.º).

El enfoque por *esquemas conceptuales*, en gran medida también, comporta una visión unificadora de la ciencia. Anterior-

mente analizamos, en relación con este enfoque, la posibilidad de definir un conjunto de núcleos o centros temáticos de atención, en torno a los cuales se puede edificar todo el edificio conceptual de la ciencia, con independencia de las distintas denominaciones específicas de sus ramas (biología, química...). La filosofía implícita en las estructuras unificadoras o integrativas, en la enseñanza de las ciencias, puede resumirse en las siguientes palabras (15):

«El concepto de enseñanza integrada de la ciencia se basa necesariamente en varios presupuestos acerca del mundo natural, acerca de las ciencias y de la educación. Uno de éstos, implícito con frecuencia, sería que el mismo universo está sustancialmente unificado. Como acto de fe, más bien que como conclusión basada en la evidencia, la mayoría de los científicos y, ciertamente, la mayoría de las personas, consideran que el mundo natural constituye en gran medida una unidad. Mientras que este punto de vista, en su expresión contemporánea, puede no ser tan grandioso e inclusivo como la creencia aristotélica de que toda la experiencia y todos los intereses humanos están enlazados en un sistema único e integrado, tiene, no obstante, un gran alcance. Aunque el imperfecto estado actual del saber nos pueda forzar a describir los diferentes aspectos del mundo real en el lenguaje restringido de alguna ciencia concreta, tendemos a creer que toda aparente desunión es debida a las limitaciones de las descripciones, y no a la misma realidad.»

No conviene pensar, sin embargo, que las anteriores ideas son necesariamente aceptadas por todos los especialistas en didáctica de las ciencias, o que vayan a serlo en un futuro próximo. Recordemos, en este sentido, la oposición de Ausubel al enfoque por esquemas conceptuales, resumida en el apartado anterior. Rutherford ha expresado este punto en los siguientes términos (15):

«Las ampulosas nociones filosóficas acerca de la naturaleza última del universo son, en la mayor parte de los casos, especulativas, y algunos filósofos defienden ciertamente puntos de vista contrarios a la unifica-

ción conceptual... Muchos científicos se expresarían en el sentido de que se encuentran implicados en la resolución de problemas de amplitud restringida, con independencia de que las soluciones aportadas a dichos problemas contribuyan a la construcción de una visión unificada del universo.»

En todo caso, y aunque el estudio unificado de la ciencia no aporte una luz realista a la comprensión de la naturaleza profunda del quehacer científico, conlleva este estudio valores de orden didáctico nada desdeñables. Es de destacar, en este sentido, la creciente permeabilidad de las paredes divisorias entre las áreas científicas y el advenimiento de zonas interfásicas de gran fecundidad (la biofísica, el electromagnetismo, la bioquímica, la termoquímica, la bioestadística, etcétera). Se avanza cada vez más hacia una unificación conceptual de las ciencias, dada la creciente interpenetración de las unas en las otras. Se hace necesario, en relación con este punto, un adecuado conocimiento de los aspectos esenciales de ciencias diferentes a aquélla en la cual se encuentra inmerso de lleno el investigador, con objeto de profundizar y de adquirir una más amplia perspectiva de su campo.

Didácticamente se puede enriquecer de forma notable el aprendizaje de una ciencia determinada si se utilizan ejemplos extraídos de otras, puesto que se evitan de esta manera redundancias y se ayuda a que el alumno comprenda las relaciones existentes entre conceptos a primera vista disociados. Este es el enfoque que antes denominamos *correlación*. Entre la integración total y la correlación, existen una serie de alternativas de acuerdo con el grado de independencia disciplinar conservado:

1. Se globan en el curso o asignatura varias ciencias con un peso específico aproximadamente igual en cada una de ellas. Ejemplo de este enfoque lo tenemos en el curso de la Nuffield Foundation *Ciencia Combinada* (16), dirigido a estudiantes de once a trece años de edad, en el cual se estudia Física, Química y Biología de forma integrada (ver el capítulo 12.º para más detalles).

2. Se centra la atención del curso sobre una ciencia concreta, pero se introducen ocasionalmente conceptos pertenecientes a otras. Así, los cursos de Física P. S. S. C. y Harvard Project Physics (H. P. P.), que tocan además aspectos esenciales de la Química y de la Astronomía en algunos de sus apartados (ver también el capítulo 12.º).

3. La integración tiene lugar en el seno de una única disciplina. Ejemplos de esto lo tenemos en la mayor parte de los cursos de ciencias «clásicos». Por ejemplo, en un curso de Química de nivel secundario o de primer curso de Facultad en el cual se integran conceptos pertenecientes a la Química Inorgánica, la Química Orgánica y la Química-Física. El curso norteamericano denominado E. S. C. P. (Earth Sciences Curriculum Project) engloba conceptos derivados de la Astronomía, la Meteorología, la Oceanografía, la Geografía Física y la Geología, de una forma integrada.

Para finalizar, un par de observaciones relativas al tema abordado en este apartado. En primer lugar, conviene hacer notar que un enfoque integrado va más allá de la simple yuxtaposición de temas o conceptos de diferentes ciencias. Por ejemplo, la enseñanza de un curso de Física y Química, en el cual se estudia Física a lo largo de la primera parte, y Química en la segunda, pero de forma desconectada o disconexa, no se podría considerar como integrada. Lo mismo cabría decir de un curso de Ciencias Naturales (incluyendo Biología, Geología, Cristalografía, etcétera). En la unificación importa *hacer notar las relaciones e interdependencias* existentes entre los distintos conceptos, de tal manera que el alumno adquiriera una *visión sintética* de las diferentes ramas de la ciencia, incluyéndose en la misma no sólo los aspectos conceptuales, sino también los metodológicos.

Una segunda observación cabe considerarse aquí: la introducción de enfoques integrados o unificados choca con las deficiencias formativas del profesorado, que ha recibido una especialización universitaria en un campo específico y que, consiguientemente, desconoce o conoce de forma muy superficial los conceptos básicos de las otras ramas de la ciencia. Es importante arbitrar vías de acción, en cuanto a la formación

inicial y permanente de los docentes se refiere. Dada la transcendencia de este punto, se volverá a analizar con más detalle en el capítulo 11.º.

IX.6. RESUMEN DEL CAPITULO

Incluimos en este capítulo un conjunto de ideas básicas y fundamentales en relación con el proceso de programación y de diseño del currículum científico. Los primeros apartados tienen un carácter general, y los conceptos vertidos en ellos son también de utilidad en áreas educaciones distintas de las áreas típicamente científicas.

El proceso de programación incluye tres etapas bien definidas: la delimitación de objetivos de formación, la articulación o estructuración de métodos didácticos congruentes con dichos objetivos y, finalmente, la previsión de sistemas de control o evaluación del proceso (este último punto se toca en el siguiente capítulo).

La delimitación de objetivos (tanto conceptuales como de conducta, operativos o de razonamiento) es la parte más delicada del proceso programador. En el capítulo 1.º se han abordado los aspectos técnicos esta fase, y en el capítulo actual se analizan las incidencias de los diferentes factores intervinientes sobre la misma. De igual manera se aborda de forma simplificada el problema de *elección* de contenidos o conceptos, dada la complejidad creciente del edificio científico y la conveniencia de no dar una visión parcial o incompleta del mismo.

Finalmente, se tocan algunos aspectos relativos a los enfoques longitudinales y cíclicos de programación, así como el problema de la unificación o integración de las diferentes ramas de la ciencia en el currículum escolar (ciencia integrada).

CUESTIONES DE APLICACION Y AUTOEVALUACION

1. Realice los siguientes ejercicios básicos de programación larga:

— *Distribuya* los contenidos de alguna de las asignaturas que tiene a su cargo, a lo largo de los diferentes períodos del curso escolar. En esta distribución es importante hacer énfasis en los aspectos más sobresalientes, así como los más difíciles, con objeto de lograr un adecuado aprendizaje. Incluya aspectos que, a su juicio, no han sido recogidos por los cuestionarios oficiales y que, sin embargo, tienen gran importancia desde su punto de vista y de acuerdo con los objetivos formales que se han propuesto conseguir en el curso.

—Realice un ejercicio de *coordinación* con el profesorado de matemáticas o de otras ramas científicas. Localice los conceptos y operaciones de cálculo que el alumno necesita dominar previamente, y estudie las posibilidades de introducir prioritariamente los mismos en el curso de matemáticas. Localice los conceptos científicos básicos que conviene que domine el alumno antes de comenzar el estudio de otras ramas científicas en cursos ulteriores (por ejemplo, estudio de Química Orgánica, para poder enfrentarse con éxito a la Biología del Curso de Orientación Universitaria).

2. Complete el ejercicio de *programación corta* que se ha propuesto en la cuestión 5 del capítulo 1.º Una vez estructurados los contenidos y los objetivos operativos o de conducta de la Unidad Didáctica programe las actividades de curso adecuadas para conseguir dichos objetivos. No deje ningún aspecto al azar. Por ejemplo, caso de utilizar el laboratorio, precise los objetivos formativos que interesa conseguir con el mismo, así como las formas o procedimientos más convenientes de utilización. Programe también con cuidado las cuestiones, problemas, actividades, etcétera, que conviene introducir en el desarrollo de la Unidad. Ponga en práctica la programación realizada, y efectúe las convenientes reestructuraciones y adaptaciones de la misma, de acuerdo con el control o evaluación que haya previsto del proceso.

3. Critique y analice las siguientes observaciones:

— La educación es más un arte que una ciencia. De ahí que no convenga forzar demasiado el proceso docente me-

diante una programación de actividades estricta y condicionante.

- El profesor tiene cortada casi toda su iniciativa individual y profesional, dada la necesidad de cubrir los «objetivos» expresados por los programas oficiales de las asignaturas científicas.
- Aunque el edificio científico crece a un elevado ritmo, es importante enseñar siempre los aspectos «clásicos», bien sedimentados ya, en los niveles básicos y secundarios.

4. Realice un análisis estructural de los objetivos que se haya propuesto lograr en una determinada Unidad Didáctica. Utilice las ideas de Raven expresadas en este capítulo, para este fin. Procure distinguir, de entre los conceptos incluidos, aquellos que sean más fértiles y extensibles, y que tengan más conexiones lógicas. Sitúe estos conceptos en el centro de la estructura programática.

5. Utilice las ideas de Gagné, recogidas en el apartado 4.º, y realice una secuenciación lógico-operativa de los objetivos incluidos dentro de una determinada unidad didáctica; así, conviene distinguir entre los objetivos finales, y los parciales necesarios para lograr aquellos otros. Por ejemplo, si se plantea como objetivo final el cálculo de situaciones dinámicas de movimiento, analice las operaciones y contenidos parciales que es preciso que domine el alumno previamente (álgebra vectorial, sistema de unidades, resolución de ejercicios de aplicación, leyes de Newton, etc.).

6. Localice diferentes ejemplos de las operaciones curriculares de integración, interdisciplinaridad, correlación y coordinación estudiadas en este capítulo. Revise las ideas expresadas en el capítulo 4.º, y proponga algunos enfoques interdisciplinares, correlativos y coordinativos para mejorar la enseñanza de las ciencias y de las matemáticas en un determinado nivel educativo.

7. Realice una programación larga de los contenidos y

operaciones que conviene incluir en la enseñanza de la Física del Curso de Orientación Universitaria (asignatura obligatoria para los alumnos de la opción de ciencias a partir de 1978), de tal manera que se contribuya a mejorar la enseñanza de la misma asignatura en los primeros cursos de la enseñanza universitaria. Intercambie impresiones en este sentido con diferentes profesores de primer curso de Facultad. ¿Qué diferencia sustancial, en cuanto a los objetivos formales o generales del curso se refiere, encuentra necesario matizar respecto a la enseñanza de la Física en los cursos previos de Bachillerato?

8. Consiga algunos de los libros que forman parte de los proyectos curriculares discutidos en el capítulo 12.^o, y analice los enfoques didácticos seguidos en los mismos: tipo de objetivos propuestos, secuenciación y énfasis relativo puesto en los mismos, articulación de actividades de profesor y de los alumnos, esquemas de evaluación, etc.

REFERENCIAS

- (1) Gran parte de las ideas apuntadas en este capítulo se hallan recogidas en nuestro trabajo «Diseño y construcción del currículum científico», publicado en *Bordón* (revista de la Sociedad Española de Pedagogía), Núm. 211, enero-febrero 1976, pp. 27-46.
- (2) TYLER, R. W. *Principios básicos del currículo*, Ed. Troquel, Buenos Aires, 1973 (Ed. original: *Basic Principles of Curriculum and Instruction*, University of Chicago Press, 1949).
- (3) SCHWAB, J. J. *College Curriculum and Student Protest*, Univ. of Chicago Press, 1969.
- (4) HALL, W. C. «Patterns - The Schools Council Integrated Science Project», en *School Science and Mathematics*, Vol. LXXV, Núm. 1, enero 1975, pp. 115-120.
- (5) BRUNER, J. *El proceso de la educación*, UTEHA, México, 1972 (Ed. original: *The Process of Education*, Harvard Univ. Press, 1960). Cf. también su obra: *Towards a Theory of Instruction*, Harvard Univ. Press, 1966.
- (6) RAVEN, R. J. «Toward a Philosophical Basis for Selecting Science Curriculum Content», en *Curriculum Theory Network*, Núm. 4, pp. 11-25, 1970.
- (7) MARGENAU, H. *La naturaleza de la realidad física*, Ed. Tecnos, Madrid, 1970 (Ed. original: *The Nature of Physical Reality: A Philosophy of Modern Physics*, McGraw Hill, Nueva York, 1950).
- (8) KOERTGE, N. «Toward an Integration of Content and Method in the Science Curriculum», en *Curriculum Theory Network*, Núm. 4, pp. 26-42, 1970.
- (9) Cf. la obra de R. M. GAGNE: *The Conditions of Learning*, 2.^a Ed., Holt Rinehart and Winston, Nueva York, 1970 (existe traducción al castellano de la primera edición: *Las condiciones del aprendizaje*, Aguilar, Madrid, 1971). También es de interés el artículo de Gagné: «The Learning Requirements for Enquiry», en *Journal of Research in Science Teaching*, Vol 1, pp. 144-153, 1963.
- (10) N. S. T. A. (National Science Teachers Association). *Theory Into Action in Science Curriculum Development*, Washington, 1964, p. 20.
- (11) BRANDWEIN, Paul. *Substance, Structure and Style in the Teaching of Science*, Harcourt, Brace and World, 1965 (citado por A. A. Carin y R. B. Sund en *Teaching Science Through Discovery*, 2.^a Ed., Charles Merrill Pub. Co., Columbus, Ohio, 1970).
- (12) Cf. el trabajo de D. P. AUSUBEL: «An Evaluation of the Conceptual Schemes Approach to Science Curriculum Development», en *Journal of Research in Science Teaching*, Vol. 3, Núm. 4, pp. 263-264, 1965 (citado por Carin y Sund, *op. cit.*).
- (13) OST, D. H. «Changing Curriculum Patterns in Science, Mathematics and Social Studies», en *School Science and Mathematics*, Vol. LXXV, Núm. 1, pp. 48-52, 1975.
- (14) *Goals for the Correlation of Elementary Science and Mathematics*,

Houghton Mifflin Co., Boston, 1969 (Report de la conferencia celebrada en Cambridge, Massachusetts, para estudiar la correlación de las matemáticas y las ciencias en las escuelas primarias y secundarias).

(15) RUTHERFORD, James; GARDNER, M. «Integrated Science Teaching», en *New Trends in Integrated Science Teaching*, Vol. I (1969-1970), UNESCO, París, 1971. Existe traducción al castellano de esta obra: *Nuevas tendencias en la integración de la enseñanza de las ciencias*, Montevideo, 1972.

(16) NUFFIELD FOUNDATION: *Nuffield Combined Science*, traducido por Ed. Reverté, Barcelona, 1973-1975. (*Ciencia Combinada.*)

BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTARIA

- BOBLICK, J. M. «Applying the Systems-Approach to Curriculum Development in the Science Classroom», en *Science Education*, 55 (2). pp. 103-113, 1971
- DOTRENS, R. *La enseñanza individualizada*, Kapelusz, Buenos Aires, 1961. De interés para introducir en la programación de actividades enfoques individualizados de trabajo con fichas directivas.
- GOZZER, G. *Bases para organizar un currículum de ciencias*, Ed. El Ateneo, Buenos Aires, 1974.
- HOLMES, M. *La escuela comprensiva en acción*, Ed. Ateneo, Buenos Aires, 1972. Se analizan aquí las estructuras y los objetivos de las escuelas comprensivas inglesas. Las ideas apuntadas pueden resultar de interés para la realización de programas globales, longitudinales e interdisciplinares a nivel de centro educativo.
- I. C. E. UNIV. AUTONOMA DE BARCELONA. *Coordinación horizontal y vertical del estudio de las ciencias en la E. G. B. y en el B. U. P.*, Barcelona, 1972 (Javier Guillén, director del proyecto).
- McCLURE, R. M. (ed.). *The Curriculum: Retrospect and Prospect*, National Society for the Study of Education, 70th Yearbook, Chicago, 1971.
- RICHMOND, Kenneth. *Curriculum Escolar*, Narcea, Madrid, 1974.
- SILBERMAN, C. E. *Crisis in the Classroom*, Vintage Books, Nueva York, 1970. Obra de carácter altamente polémico, en la que se critica la situación actual en diferentes aspectos del mundo educativo.
- STOCKER, E. *Principios de didáctica moderna*, Ed. Kapelusz, Buenos Aires, 1964.
- TAYLOR, P. A.; COWLEY, D. M. *Readings in Curriculum Evaluation*, W. C. Brown Co., Dubuque, Iowa, 1972. Se analizan, en los distintos artículos y trabajos aquí incluidos, diferentes vías alternativas en el campo de la evaluación del currículum escolar.
- UNESCO. *New Trends in Integrated Science Teaching*. Vols. II y III, UNESCO, París, 1973 y 1975.

X. LA EVALUACION DE LOS APRENDIZAJES

X.1. FUNCIONES DE LA EVALUACION

Este tema se ha tratado con extensión en muchos y excelentes libros. Por ello, poco más pretendemos en este primer apartado que recordar algunas de las ideas ya apuntadas en numerosas ocasiones.

Para empezar, es conveniente reflexionar sobre el *papel dinámico* de la evaluación dentro del proceso educativo. En este sentido, la evaluación permite alcanzar las siguientes tres metas fundamentales:

1.º Se puede *obtener información* sobre la calidad de la educación impartida y el grado de consecución de los objetivos educacionales previamente planteados.

2.º Esta información es de utilidad para *reformar el proceso didáctico* cuando se estime conveniente (no se puede reformar o introducir cambios adecuados sin conocer previamente los puntos débiles del sistema).

3.º Sirve la evaluación como acicate y estímulo para que el alumnado progrese por las líneas maestras que se ha planteado el profesor. De ahí la importancia de diseñar *buenas evaluaciones*, que centren el trabajo y el estudio de los alumnos en aspectos básicos y educativamente relevantes (este tercer punto es tratado con amplitud a lo largo del capítulo).

Los puntos anteriores han sido reflejados por Bloom *et al.* (1) y por Cronbach (2) en las siguientes afirmaciones, que consideramos interesante recoger aquí:

«La evaluación del aprendizaje no es sino la recogida sistemática de evidencia con objeto de determinar

si, de hecho, están teniendo lugar ciertos cambios en los alumnos, y también de determinar el grado de cambio de los estudiantes individuales... La evaluación es un sistema de control de calidad por medio del cual puede determinarse en cada paso del proceso de enseñanza-aprendizaje si dicho proceso es efectivo o no, y, en este último caso, qué tipo de cambios deben llevarse a cabo para asegurar la efectividad antes de que sea demasiado tarde» (Bloom *et. al.*).

«La evaluación es una recogida y uso de información en orden a la toma de decisiones acerca del programa educativo» (Cronbach).

Está claro que, con objeto de cubrir los aspectos anteriores, interesa evaluar con calidad, pero de forma sistemática y rápida (*evaluación continua*). Los exámenes muy espaciados y de lenta calificación no son los más adecuados en esta línea, aunque también tienen su interés. En este capítulo aventuramos algunas ideas y sugerencias de orden práctico para el caso de la enseñanza científica.

La evaluación permite, también, que el alumno se conozca a sí mismo y conozca su progreso de forma precisa y en relación con los demás compañeros de la clase. También el profesor puede adquirir información estadística del alumnado, y puede calificarlos a partir de un conocimiento preciso de su nivel de formación y de razonamiento. En este capítulo no vamos a referirnos al problema del análisis estadístico de los datos, por exigencias de espacio disponible, pero la bibliografía incluida al final puede resultar de valor inestimable para el lector interesado en profundizar en este aspecto.

El autoconocimiento del alumno está cobrando cada vez más importancia como elemento integrante del proceso educativo, y se ha llegado a plantear la necesidad de búsqueda de vías alternativas de autoevaluación. Se habla de *evaluación formativa* (1) cuando las pruebas son corregidas con la colaboración de los propios alumnos, y no se utilizan las mismas para calificar, sino para lograr un mejor conocimiento del nivel de formación de la clase. Puede darse el caso de que un

determinado alumno se crea en posesión de un nivel suficiente de conocimientos y de operaciones mentales, y que esta suposición sea contradicha por las pruebas adecuadas diseñadas por el profesor.

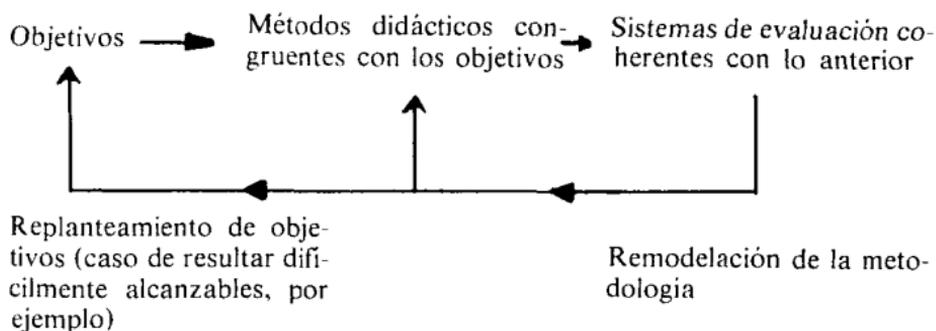
Los tests de evaluación tienen también interés en la línea del *pronóstico* (con objeto de orientar al alumno hacia determinadas carreras y profesiones) y en la *del diagnóstico* (por ejemplo, para colocar a determinados estudiantes en las clases más adelantadas o en las clases de recuperación, para conocer el nivel de formación previo de ciertos alumnos y adaptar el proceso de enseñanza al mismo, etc.). También actúan como tests de inteligencia específica (en una determinada rama o materia escolar) y para la adjudicación de becas, ayudas al estudio, etc.

X.2. ALGUNAS SUGERENCIAS DE ORDEN PRACTICO

Con objeto de poder poner en práctica las ideas anteriores, conviene tener en cuenta algunos principios básicos e insoslayables. Más adelante se presentan ejemplos concretos de métodos y vías de evaluación para el caso de las ciencias.

En primer lugar, debe procurarse una coherencia y *adecuación entre los objetivos educativos planteados y los métodos de evaluación utilizados*. Este principio básico es desatendido con frecuencia en la práctica. Así, se da el caso de seguir enfoques pedagógicos de tipo memorístico-expositivo y de plantear exámenes en la línea del razonamiento y la discusión. Esta situación provoca, con justo motivo, notables desasosiegos y disconformidad por parte del alumnado, al percibir éste un desfase lamentable entre los objetivos didácticos (reflejados en la forma de desarrollarse la clase) y los objetivos sometidos a evaluación o control. Se llega a considerar inútil en gran medida a la clase en cuestión, y la asistencia a la misma deja de cobrar interés para un alto porcentaje de los alumnos.

La secuenciación lógica, en forma semejante a la seguida en el capítulo anterior, debería ser:



Dado que un aspecto esencial del proceso evaluador radica en la puesta en evidencia de los fallos didácticos que dificultan la consecución de determinados objetivos educacionales, tiene gran interés seguir con detalle el esquema anterior. De esta manera es posible lograr un alto nivel de control y de conocimiento del proceso docente.

Puesto que el papel de la evaluación debería ser más bien de carácter dinámico que burocrático («dejar pasar» a los alumnos que han alcanzado un nivel aceptable de formación), interesa localizar *métodos rápidos y sencillos, pero completos*. En la línea de la evaluación formativa, los propios alumnos pueden corregir las pruebas, con objeto de conocerse mejor a sí mismos y poder controlar eficazmente sus líneas de trabajo y de estudio. Si el profesor logra crear un clima adecuado en la clase, el alumnado llegará posiblemente a percibir el papel de instrumento de ayuda de los sistemas de evaluación. Si se utiliza un enfoque didáctico de trabajo en grupos, pongamos por caso, cada grupo de alumnos puede realizar las pruebas diseñadas periódicamente por el profesor y conocer con precisión si se acercan positivamente hacia los objetivos concretos de cada unidad didáctica.

La posición de los docentes, en este contexto, evolucionaría desde una postura calificatoria y clasificatoria hacia otra de ayuda al aprendizaje y al desarrollo intelectual de los alumnos. Los exámenes y las evaluaciones más largas (al final de los diferentes períodos del curso escolar) dejarían de ser observados como barreras discriminativas, y cobrarían un carácter esencial de índices *plasmadores de los objetivos que todos, en grupos de trabajo, intentan conseguir*.

Puesto que, en el campo científico, interesan más *el razonamiento y la comprensión* que la acumulación de conocimientos estáticos, en este sentido deben estructurarse las pruebas de evaluación formativa y calificativa. Está comprobado que el alumno, en general, tiende a estudiar y a centrarse de acuerdo con las líneas y las exigencias docentes previamente trazadas, y de ahí la necesidad de diseñar pruebas que pongan de manifiesto la capacidad discursiva y el razonamiento científico, así como la comprensión de los conceptos implicados.

Si el profesor pone el acento sobre aspectos memorísticos, en esos mismos aspectos centrarán su atención los alumnos. Esto es muy importante tenerlo en cuenta a la hora de evaluar. Si, pongamos por caso, se exige la memorización de «fórmulas» y expresiones simbólicas, así como su aplicación en la resolución de ejercicios numéricos, el alumno gastará gran cantidad de energías en la retención de dichas expresiones. Por esto mismo, somos partidarios de que se permita la utilización de colecciones de algoritmos y «fórmulas», o bien de que el propio profesor las suministre en los exámenes. De esta manera se *contribuye a desterrar la obsesión por memorizar expresiones simbólicas, y se polarizan los estímulos hacia la comprensión analítica de las mismas.*

Cuando hablamos de razonamiento y de capacidad discursiva, nos estamos refiriendo indirectamente al conjunto de objetivos operacionales o de conducta que presentamos en el capítulo 1.º De acuerdo con la taxonomía allí analizada, esta capacidad de razonamiento científico se diversifica o escinde en un conjunto de niveles de complejidad creciente: comprensión, aplicación, análisis, síntesis y evaluación. Sería de interés para el lector repasar las ideas allí reflejadas y procurar asimilar con atención las mismas. Esto puede ayudar en gran medida al diseño de pruebas de evaluación desde una perspectiva psicológica y analítica. En todo caso, a lo largo de este capítulo ofreceremos ejemplos relacionados con los distintos niveles de la taxonomía.

Para finalizar este apartado, queremos recordar un par de puntos que, por triviales y básicos, deberían ser tenidos en cuenta con más frecuencia de lo que en realidad se hace. Por

una parte, conviene reflexionar de forma constante que *es el razonamiento y la comprensión científicos lo que está en juego* (y, por consiguiente, deben ser objeto de evaluación), y no un razonamiento matemático aplicado. Queremos decir con estas palabras que, frecuentemente, se dispersan energías en la resolución de problemas y ejercicios de larga duración, cargados de cálculo matemático y con una entidad conceptual no muy bien definida. Los problemas deberían ser diseñados para ejercitar y evaluar la capacidad de aplicación y la de análisis-síntesis, y no el recuerdo de fórmulas y expresiones «felices», cuajadas de largos cálculos numéricos.

Si razonamos de acuerdo con las ideas antes apuntadas, quizá deje de tener sentido gran variedad de las formas y enfoques tradicionales. Así, el énfasis en preguntas largas y memorizadas (con expresiones y desarrollos de «libro de texto») no discurre en la línea del razonamiento científico. Además, con preguntas de este tipo es imposible sondear de forma completa y exhaustiva el dominio del conjunto de objetivos y conceptos que jalonan el curso. Alguna se puede plantear por razones que se apuntan más adelante, pero es preferible dejar amplio margen a otras formas más completas de evaluación.

Finalmente, en los exámenes conviene dar el *peso relativo* adecuado a cada uno de los objetivos perseguidos en el curso. Así, si al dominio y a la aplicación de un determinado concepto se le adjudica una importancia primordial, sobre dicho concepto debe recaer gran parte del peso total. En este sentido, y dado que una evaluación no es sino un *muestreo o sondeo ponderado* del conjunto de objetivos educacionales, interesa construir una tabla con las especificaciones y las ponderaciones relativas de los objetivos incluidos en cada unidad didáctica. De esta manera, es posible diseñar tests, ítems y pruebas de evaluación que reflejen fielmente toda la estructura curricular programada (ver el capítulo anterior). En la confección de las pruebas, asimismo, interesa hacer uso de ítems pertenecientes a los diferentes tipos indicados en este capítulo, dado que con ítems de diferente estructura es factible la evaluación de componentes intelectuales de distinta naturaleza.

X.3. USO DE PRUEBAS OBJETIVAS

Con frecuencia se ha criticado a las formas tradicionales de evaluación (incluyendo las pruebas de ensayo y los problemas extensos) su escasa *fiabilidad* y *objetividad*. Así, profesores distintos (o el mismo profesor, en momentos diferentes) otorgarían calificaciones distintas a una misma prueba realizada por un alumno concreto. Y esto dejando aparte problemas adicionales, como son la lentitud en la aplicación y en la corrección.

Por otra parte, existen defectos en lo que se refiere a la *validez*. Se dice que una prueba tiene un alto grado de validez cuando sirve para medir de forma precisa el conjunto de objetivos educacionales a los que se dirige. No se puede conseguir esto, sin embargo, con un examen que conste de dos o tres problemas y varias cuestiones de considerable extensión. Con tan escasos elementos difícilmente se pueden sondear la gran cantidad de objetivos, contenidos y conceptos implicados en una determinada estructura curricular (aunque permiten evaluar algunos aspectos de gran interés puestos de manifiesto en los procesos de resolución de problemas).

Las *pruebas objetivas*, que son de diferentes tipos, se han presentado en ocasiones como instrumentos muy adecuados de evaluación, que evitan en gran medida los inconvenientes antes mencionados. Sus características básicas son las siguientes:

- Items cortos. Se denomina ítem a cada uno de los elementos estructurales integrantes de una prueba objetiva.
- Respuestas convergentes. Es decir, normalmente existe sólo una respuesta válida. Más adelante analizamos la dificultad que comporta este aspecto, en lo que se refiere a la medición de aspectos creativos y divergentes.
- Objetividad en la corrección. Dicho con otras palabras, un determinado test obtendría la misma puntuación numérica por parte de diferentes correctores o en momentos distintos.
- Tienen un inconveniente: la dificultad de medición de

objetivos de nivel superior (capacidades discursivas y de razonamiento). Así es prácticamente imposible evaluar la capacidad de síntesis. Veremos, con los ejemplos recogidos más adelante, cómo se pueden medir con relativa facilidad los restantes niveles taxonómicos.

Una recomendación de orden práctico, en el caso de hacer uso de este tipo de pruebas, es la siguiente: interesa disponer de un *banco de pruebas objetivas* diseñadas por el profesor de la asignatura en cuestión, acrecentado a lo largo de varios años de ejercicio docente. Se dispone de esta manera de una fuente de evaluaciones rápidas y sencillas, para cuando fuere conveniente. Si estos ítems objetivos se archivan mecanografiados, es muy sencilla la elaboración de pruebas cortas o de pruebas de longitud mayor. Basta con disponer los ítems escogidos sobre un soporte de papel, obtener una tofocopia y, a partir de la misma, multicopiar el número de ejemplares necesarios.

En la aplicación práctica de pruebas objetivas (las de elección múltiple son las mejores, aunque también analizaremos otros tipos de pruebas) interesa dotar a los alumnos de *hojas de respuesta*, que faciliten la corrección. En estas hojas se disponen numerados los ítems propuestos y se ofrecen alternativas de elección. La estructura y ordenación serían del siguiente tipo:

Item 1	A	<input checked="" type="radio"/> B	C	D	E
Item 2	A	B	C	D	<input checked="" type="radio"/> E
Item 3	A	B	<input checked="" type="radio"/> C	D	E
Item 7	<input type="checkbox"/> V	<input type="checkbox"/> F	<input type="checkbox"/> F	<input type="checkbox"/> V	<input type="checkbox"/> F
Item 8	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 1		

En los tres primeros ítems, el alumno debe señalar la alternativa u opción que considere correcta. En el 7.º, se trata de dar respuestas de tipo verdadero-falso (V-F) a una serie de preguntas cortas o afirmaciones. En el 8.º se debe indicar los números de orden dentro de una serie de respuestas alternativas, etc.

Los ítems, una vez contruidos y aplicados, deben ser estudiados (proceso de *análisis de ítems*), y modificados en la línea que resulte más conveniente. En este análisis interesa tener en cuenta los siguientes tres aspectos fundamentales:

1.º *Índice de dificultad* del ítem. Lógicamente, si el ítem es muy fácil o muy difícil, no servirá para discriminar con precisión entre los alumnos intermedios, ni para constatar el grado de consecución de determinados objetivos. El índice de dificultad del ítem refleja el porcentaje de alumnos que lo aciertan, oscilando su valor entre 0 y 1. Para calcular este índice se divide la clase en tres grupos numéricamente iguales: el constituido por los alumnos con puntuación global superior en la prueba total (de la que forma parte el ítem de que se trata) y los integrados por los alumnos intermedios y los de puntuación global inferior. Se aplica la fórmula siguiente:

$$\text{I. Dif.} = \frac{S + I}{N}$$

siendo S = número de acertantes del ítem en el grupo superior; I = número de acertantes en el grupo inferior, y N = número de alumnos incluidos en ambos grupos simultáneamente (= 2/3 del número total de la clase, en nuestro caso).

Por ejemplo, si disponemos de una clase de 36 alumnos, y un determinado ítem es acertado por 10 alumnos del tercio superior y por 2 alumnos del inferior, sería:

$$\text{I. Dif.} = (10 + 2)/24 = 0.5.$$

Decir que el índice tiene un valor de 0.5 equivale a afirmar que es acertado por la mitad aproximadamente de la clase (el cálculo puede realizarse también con la totalidad de los alumnos, pero la distribución aproximada en tercios facilita el del índice de discriminación). Interesa que este I. Dif. oscile entre 0.4 y 0.7 para que el ítem tenga suficiente calidad, es decir, para que no resulte ni muy fácil ni muy difícil; el total de acertantes, en ambos extremos, sería del 40 por 100 y del 70 por 100, respectivamente. Esta norma no debe tomarse en un

sentido estricto, puesto que en ocasiones interesará incluir ítems muy sencillos con finalidades de motivación de los alumnos menos aventajados.

2.º *Índice de discriminación.* Refleja hasta qué punto un determinado ítem tiende a ser acertado por los «mejores» alumnos (los que han obtenido la puntuación global mejor en la prueba) y no por los alumnos de menor puntuación total. Este índice oscila, en valor absoluto, entre 0 y 1, y se calcula con la siguiente expresión:

$$I. \text{ Dis.} = (S - I)/(N/2)$$

En el caso anteriormente propuesto, $I. \text{ Dis.} = (10 - 2)/12 = 0.7$ (aprox.). Un ítem que discriminara perfectamente sería acertado sólo por los mejores alumnos y solamente por ellos; el valor de su índice de discriminación sería de $(N/2 - 0)/(N/2) = 1$. Un ítem de escasa discriminación tendería a ser acertado en igual medida por ambos grupos de alumnos, y el valor de su índice sería de $(M - M)/(N/2) = 0$ (suponiendo que es M el número de acertantes en ambos grupos). Incluso sería posible detectar la presencia de ítems con índices negativos, pero son muy raros. Un «buen» ítem debería tener un $I. \text{ Dis.} > 0.4$; un valor inferior a 0.2 sería poco recomendable.

3.º *Análisis de distractores.* En el caso de los ítems de elección múltiple, las opciones o alternativas falsas (los «distractores») interesa que polaricen la atención de los alumnos de forma comparable. De esta manera, sería un mal distractor el que apenas es escogido o escogido con demasiada facilidad. Hay una regla básica en este sentido: no utilizar distractores «absurdos», que no serían seleccionados ni siquiera por los alumnos con un bagaje escaso de conocimientos. Una buena política consiste en reflejar un error de concepto determinado en cada una de las alternativas falsas, con objeto de constatar de una forma precisa y rápida cuál es el porcentaje de alumnos que tiende a presentar dicho error; en algunos de los ejemplos incluidos en el apartado siguiente se ilustra este punto concreto.

X.4. EJEMPLOS DE ITEMS OBJETIVOS PARA LA EVALUACION DE LAS CIENCIAS (3)

4.1. *Items de elección múltiple*

Ejemplo 1. Química: Nivel de comprensión-aplicación.

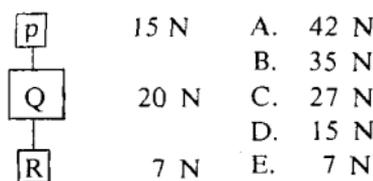
Si se vierten 10 gramos de ácido sulfúrico diluido sobre 2 gramos de zinc contenidos en un tubo de ensayo, se aprecia el desarrollo de una reacción química. ¿Cuál es el peso de los productos dentro del tubo, después que ha concluido dicha reacción?

- A. 12 gr.
- B. Ligeramente menor de 10 gr.
- C. 10 gr.
- D. Ligeramente menor de 12 gr.
- E. Ninguno de los anteriores.

Para responder a este ítem, el alumno debe poseer los dos conocimientos siguientes: el zinc desplaza al hidrógeno de las ácidos y, por otra parte, el hidrógeno se desprende del tubo. Además, debe realizar el razonamiento siguiente: el peso total de las sustancias reaccionantes es de 12 gr; dado que se desprende el hidrógeno producido, el peso total de los productos al finalizar la reacción será algo menor de 12 gr. (opción D). Este ítem responde a la conveniencia, que expresamos anteriormente, de evaluar procesos intelectuales de orden científico: comprensión, aplicación y análisis.

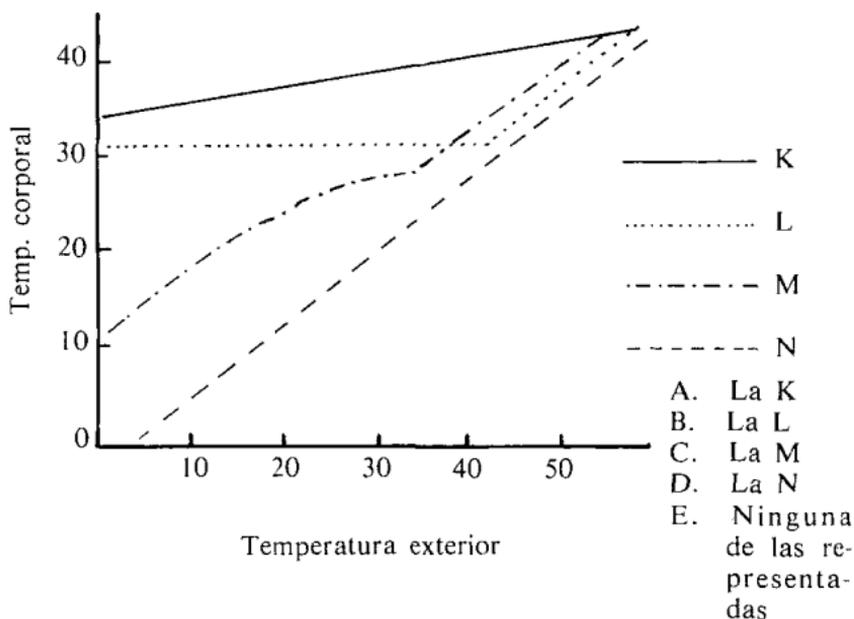
Ejemplo 2. Física: Nivel de comprensión.

Los objetos P, Q y R de pesos 15 N, 20 N y 7 N cuelgan de una cuerda delgada, en la forma indicada en la figura. ¿Cuál es la tensión en la cuerda entre P y Q?



Ejemplo 3. Biología: Nivel de comprensión-aplicación.

El gráfico adjunto muestra los resultados obtenidos cuando se investigan los cambios en la temperatura corporal al producirse cambios en la temperatura exterior. ¿Cuál de estas tres curvas representa con más probabilidad los resultados obtenidos para el caso de un lagarto?



Ejemplo 4. Física: Nivel de conocimiento-comprensión.

Una sustancia radiactiva tiene un período de 6 días. ¿Qué fracción de la actividad original de una muestra permanece después de 12 días?

- A. $1/36$
- B. $1/12$
- C. $1/4$
- D. $1/2$
- E. Ninguna de las anteriores.

Ejemplo 5. Química: Nivel de aplicación-análisis.

Las disoluciones 1, 2, 3 y 4 tienen las siguientes características:

Disolución 1: $\text{pH} = 5$

Disolución 2: $[\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-9}$

Disolución 3: $[\text{OH}^-] = 10^{-8}$

Disolución 4: $\text{pH} = 10$

Sabiendo que se define como $\text{pH} = -\log [\text{H}_3\text{O}^+]$ y que el producto iónico del agua vale $[\text{H}_3\text{O}^+][\text{OH}^-] = 10^{-14}$, ¿cuál de las siguientes ordenaciones sitúa a las cuatro disoluciones en orden *creciente* de acidez?

A. $4 < 3 < 2 < 1$

B. $1 < 3 < 2 < 4$

C. $4 < 2 < 1 < 3$

D. $4 < 2 < 3 < 1$

E. $1 < 2 < 3 < 4$

En las pruebas de elección múltiple (múltiples opciones o múltiples alternativas), el orden de las opciones debe establecerse al azar, usando un dado, por ejemplo, con objeto de que no se deje traslucir ninguna tendencia por parte del examinador a situar las alternativas correctas en una determinada situación prioritaria.

4.2. *Items de dos o tres alternativas*

Entre éstos se encuentran los ítems de verdadero-falso, que tienen un grave inconveniente: la elevada probabilidad que existe de acertarlos al azar. Con objeto de soslayar esta dificultad, conviene englobar en un único ítem varias sentencias de V-F, de manera que se califique el conjunto (descontando, eso sí, las posibilidades de acierto al azar)

Ejemplo 6. Química: Comprensión.

Se electroliza una disolución de cloruro potásico en agua mediante el paso de la corriente eléctrica. Dígase si cada una de las afirmaciones siguientes es falsa (F) o verdadera (V).

- A. Se forma KOH, y la disolución toma carácter básico ()
- B. Sobre el cátodo se descarga potasio, que reacciona con el agua, dando hidrógeno ()
- C. Sobre el ánodo se descarga cloro ()
- D. Sobre el cátodo tiene lugar un proceso de reducción ()

Puesto que la probabilidad de acierto al azar es de $1/2$ en cada una de las sentencias, la calificación para un ítem de este tipo, con cuatro cuestiones, podría ser:

- 4 aciertos: 1 punto (o la puntuación que se otorgue al ítem, de acuerdo con el peso relativo que tenga dentro de la prueba total).
- 3 aciertos: $1/2$ punto.
- 2 aciertos: 0 puntos.

Estas orientaciones no son totalmente prescriptivas, y puede haber quien adjudique cero puntos al ítem al apreciar un fallo que comporte un acusado error de concepto.

Se pueden utilizar los ítems de V-F en el caso de evaluaciones iniciales del curso (pretests), con objeto de extraer una información rápida sobre el grado de conocimientos y la madurez discursiva del conjunto de la clase y de cada alumno en particular.

Es posible añadir una tercera alternativa, con objeto de disminuir las posibilidades de acierto por azar (en los ítems de 4 ó 5 opciones no es completamente necesario efectuar la corrección de azar, dado que las posibilidades son similares para todos los alumnos de la clase).

Ejemplo 7. Biología.

Objetivo: averiguar si los alumnos saben distinguir entre afirmaciones de validez general o restringida.

Indicaciones: «Para cada una de las afirmaciones siguientes decidid si se trata de una afirmación cierta en todos los

casos (+), que no es cierta en ningún caso (-), o bien que es cierta solamente para algunos casos (0).»

- La célula es la unidad más pequeña de un organismo viviente ()
- La pared celular de las células vegetales está formada por celulosa ()
- Los insectos tienen cuatro patas ()
- Los insectos tienen un único par de alas ()
- Los peces se alimentan de vegetales ()

Ejemplo 8. Química.

Objetivo: averiguar si el alumno sabe distinguir *conclusiones y especulaciones* de *observaciones* y hechos relevantes.

Indicaciones: «Se va a presentar una serie de afirmaciones. Anotad en cada caso A, B o C, según la siguiente tabla:

- A. La afirmación se refiere a una evidencia observacional o experimental que confirma la teoría de que se trata.
- B. La afirmación se refiere a una hipótesis o suposición relacionada con la teoría, que fue formulada mucho antes de que se encontrara evidencia experimental de la misma o que todavía no ha sido confirmada experimentalmente.
- C. La afirmación se refiere a algo que no tiene nada que ver con la teoría.»

Para el caso de la teoría cinética de los gases:

- El volumen de un gas aumenta con la temperatura cuando la presión permanece constante ()
- La mayoría de los gases son incoloros ()
- Un gas ejerce siempre presión, no importa cómo se expanda ()
- El calor específico molar está relacionado con la constante universal de los gases ()

4.3. *Items de razonamiento analítico-causal*

Como es bien sabido, este tipo de razonamiento está íntimamente entroncado en el proceso científico, y de ahí la impor-

tancia de su evaluación. Se encuentra en los niveles taxonómicos superiores, que se estudian en el primer capítulo (razonamiento analítico sintético). Una forma bastante práctica de evaluar este razonamiento es la siguiente:

Ejemplo 9. Física, Química, Biología.

Indicaciones: «En los ítems siguientes se va a presentar una serie de *afirmaciones* seguida por un conjunto de *razones explicativas*. En cada caso, se trata de anotar A, B, C, D o E, según si:

A. La afirmación y la razón son ambas ciertas en sí mismas y, además, la razón que se indica es la verdadera explicación de la afirmación.

B. Ambas son ciertas, pero la explicación es falsa (no existe una relación causal o explicativa entre la afirmación y la razón)

C. La afirmación es cierta y la razón es falsa.

D. La afirmación es falsa y la razón es cierta.

E. Ambas sentencias, la afirmación y la razón, son falsas.

AFIRMACION		RAZON	
El cobre desplaza al hierro en una solución que contiene iones Fe^{++}	PORQUE	El cobre es más reactivo que el hierro	()
Un reloj de péndulo se atrasa en un día caliente	PORQUE	La densidad del aire alrededor del mismo disminuye	()
Las células se vacuolizan en un medio acuoso de baja concentración	PORQUE	La pared celular es impermeable al paso de líquidos	()
El acetileno se polimeriza para formar benceno	PORQUE	Los dos compuestos tienen la misma fórmula empírica	()
En los estrangulamientos de las tuberías de conducción de fluidos existe una baja presión	PORQUE	Aumenta la velocidad en dichos lugares y disminuye la presión de acuerdo con la ecuación de Bernoulli.	()

4.4. Otros tipos de ítems objetivos.

Cabe destacar los de *emparejamiento* de datos y columnas, los de *ordenación* de datos y los de *texto mutilado*, aunque no somos muy partidarios de su utilización en el caso de las ciencias. Si se trata de evaluar el razonamiento científico, los tipos de ítems que hemos presentado anteriormente son más idóneos y ofrecen un mayor número de posibilidades.

Ejemplo 10. Biología.

Aquí ofrecemos un ejemplo de ítems de emparejamiento. En el caso de utilizar alguna vez este tipo de prueba, interesa que las dos columnas de términos tengan distinta longitud, con objeto de que no se acierten los últimos casos por exclusión.

Instrucciones: situar dentro de cada paréntesis el número que le correspondería en la segunda columna.

- | | |
|---|-----------------------|
| () Se presenta en todos los individuos durante la primera generación | 1. Carácter adquirido |
| () Solamente una de dos características alternativas reside en el gameto | 2. Congénito |
| () El daltonismo se debe a un cromosoma X defectuoso | 3. Dominante |
| () Transmitido a través de los gametos | 4. Heredado |
| () Aparece en la relación de 1 a 3 en la segunda generación | 5. Instinto |
| () La adquisición de una enfermedad de la madre durante el embarazo | 6. Pureza de gametos |
| | 7. Recessivo |
| | 8. Ligada al sexo |

Ejemplo 11. Química.

Sean las siguientes formulaciones de compuestos orgánicos:

$\text{CH}_3\text{-COOH}$ (1); HCOOH (2); $\text{CH}_2 = \text{CH}_2$ (3);
 $\text{CH}_3\text{-NH}_2$ (4); C_2H_2 (5); $\text{CH}_3\text{COOCH}_3$ (6); $\text{CH}_3\text{-COH}$ (7);
 $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-NH}_2$ (8); $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{OH}$ (9); $\text{CH}_3\text{-CO-CH}_3$
(10).

Escribir a la derecha de los siguientes compuestos el número que corresponde a su representación simbólica:

A. Etilamina (); B. Acetileno (); C. Eteno (); D. Etanol (); E. Acido fórmico ().

Ejemplo 12. Química.

Se da una lista de símbolos representando diferentes elementos químicos. Escribir el orden numérico correcto que los situase en una escala creciente de densidades (en condiciones térmicas normales).

Ag (1); Cl (2); Hg (3); Na (4); Al (5); F (6).

Ejemplo 13. Física.

Aquí se incluyen algunos ítems de texto mutilado o de construcción de respuesta. El alumno no debe escoger en este caso entre una serie de opciones alternativas, sino construir o escribir las posibles respuestas en los espacios en blanco disponibles.

- Escribir la expresión de la Ley de Coulomb, que refleja la interacción entre dos cargas eléctricas
- Si ----- se mantiene constante, la *pre-*sión evoluciona en razón inversa a
- En un circuito abierto, la diferencia de potencial entre los bornes de una batería tiene igual valor que su
- La expresión $s = s_0 + v_0.t + 1/2.a.t$ tiene una parte incorrecta. Escríbela -----

Con este último ejemplo damos fin a este apartado destinado a los tests de tipo objetivo. No hemos cubierto, por supuesto, ni una mínima parte de las posibilidades que existen. La creatividad del profesor puede muy bien ponerse de manifiesto en la originalidad y en la corrección de los ítems que diseñe para sus

pruebas de evaluación, y el camino está abierto a múltiples variaciones y estructuras. Queremos hacer notar, para terminar, que aunque hemos situado los espacios para escribir las respuestas dentro de los mismos ítems es posible utilizar hojas de respuestas en la forma que indicamos más arriba. Esta última posibilidad facilita notablemente la corrección de las pruebas.

X.5. CUESTIONES Y PROBLEMAS DE RAZONAMIENTO CIENTIFICO

Las pruebas objetivas tienen un grave defecto: son pruebas convergentes o cerradas, con una única respuesta válida, y con ellas sólo se evalúa el acierto o fallo, y no el razonamiento seguido para dar con la respuesta.

En el caso de las cuestiones y problemas de razonamiento (*pruebas de tipo abierto*) también se toma en consideración el proceso mental y las vías adoptadas por el alumno. En este caso son posibles varias respuestas alternativas o bien, caso de existir una única respuesta válida, existen varios modos de enfocar el proceso de su búsqueda. En todo caso, conviene precisar que con pruebas objetivas *bien diseñadas* también es posible evaluar la capacidad discursiva del alumno y no solamente la memorización de datos o conceptos.

El razonamiento científico, como recordamos anteriormente, se diversifica en las operaciones de comprensión, aplicación, análisis y síntesis. Correspondiendo a estos niveles operacionales, es posible estructurar pruebas que midan el nivel y capacidad discursivos. Si se trata de poner de manifiesto los niveles de *comprensión-aplicación*, es posible hacer uso de pruebas objetivas y no es necesario plantear preguntas de tipo abierto. En el caso de la operación de *análisis*, en el párrafo 4.3 aludimos a un procedimiento objetivo y simple para su medida. El *razonamiento sintético*, sin embargo, difícilmente se puede evaluar con esta clase de procedimientos, y de ahí la necesidad de utilizar cuestiones y problemas de tipo abierto y enfoque personal.

La resolución de un problema lleva consigo dos etapas claramente definidas (ver el capítulo 6.º):

1.º Etapa de análisis, en la cual el alumno desglosa o rompe el todo en sus partes y elementos integrantes. En un problema de dinámica, por ejemplo, se analizarían las diversas fuerzas y reacciones mecánicas existentes. En un problema de electrodinámica de mallas se analizarían las mallas y nudos existentes, así como los elementos de circuitería intervinientes.

2.º Etapas de síntesis, en las cuales se recomponen los diversos elementos y factores antes analizados y se diseña una estrategia de acción para alcanzar una solución válida y con sentido. Para resolver un problema, por consiguiente, es fundamental poner en juego una estrategia intelectual analítico-sintética. En este sentido se diferencian los *problemas* de los simples *ejercicios* de comprensión-aplicación, los cuales constituyen etapas o jalones previos que es necesario alcanzar, si se pretende dominar los niveles de razonamiento más elevados.

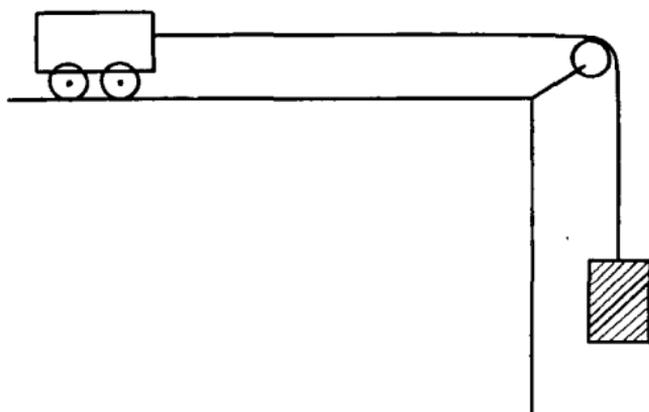
Así como los problemas llevan asociado en gran medida un conjunto de operaciones de tipo cuantitativo, es posible evaluar también la capacidad discursiva científica, la comprensión conceptual y el razonamiento analítico-sintético mediante *cuestiones no numéricas*. En otros lugares del libro hemos aludido a la excesiva matematización de que está siendo objeto la enseñanza de las ciencias (principalmente de la Física), en detrimento de otras vías didácticas más cualitativas y menos calculísticas. De ahí el interés de utilizar este otro tipo de cuestiones de evaluación.

Ejemplo 14. Física (4)

Un experimentador imprime una aceleración a un carrito mediante un peso colgante que lo arrastra y al cual está unido mediante una polea. Desesperado porque no puede conseguir valores de la aceleración tan grandes como desearía, sustituye el peso que cuelga por una enorme caja de caudales que pesa varias toneladas. Confía de este modo en conseguir una aceleración del carrito varios miles de veces mayor que en el caso

de dejarlo caer libremente. ¿Tiene razón en sus suposiciones? ¿Por qué? ¿Qué valor de la aceleración esperarías conseguir? Expresa tu respuesta de forma tan cuantitativa como puedas, pero sin dar números o cifras «exactas». Justifica tus respuestas.

----- (5 líneas) -----



Ejemplo 15. Física-Química (ver la referencia 3.3).

Un gas en un cilindro dotado de un pistón sin rozamiento se comprime rápidamente mediante el empuje del pistón. El gas se calienta.

a) Describe, en términos del comportamiento molecular, el mecanismo o proceso por el cual el gas se calienta

----- (2 líneas) -----

b) ¿Dónde o cómo se encuentra el calor ganado?

----- (2 líneas) -----

c) ¿De dónde procede el calor ganado?

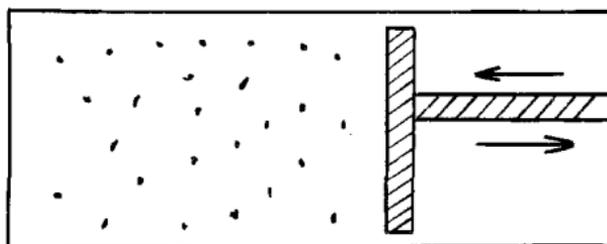
----- (2 líneas) -----

d) El gas se deja expandir moviendo el pistón hacia afuera. Explicar brevemente por qué se enfría el gas

----- (3 líneas) -----

e) Si el pistón se conecta a un volante sin rozamiento, ¿qué sucede con el calor perdido por el gas?

----- (1 línea) -----



Como vemos con este último ejemplo, es posible escalar o fraccionar una pregunta en cuestiones sucesivas, con objeto de evaluar de forma precisa las distintas partes o razonamientos implicados.

Algunas muestras de cuestiones cortas para evaluar la capacidad de *síntesis-asociación de ideas* podrían ser las siguientes:

Ejemplo 16. Física, Química y Biología.

- Expresar brevemente las semejanzas y diferencias entre células animales y vegetales.
- ¿Por qué se oye el sonido detrás de una pantalla que nos separa del foco emisor?
- Un cierto compuesto se calentó con CuO , y se convirtió totalmente en CO_2 y H_2O . Parte del CuO se convirtió en cobre metálico. No se observó ninguna otra substancia, aparte de las ya mencionadas. ¿Qué conclusiones se pueden extraer de dicha experiencia? (5).
- ¿Por qué tendemos a encoger nuestro cuerpo en los días fríos?
- ¿Cuánto pesa la tierra en el sistema gravitatorio creado por un cuerpo cuya masa es de 50 Kg.?

Anteriormente aludimos a la conveniencia de que el alumno no tienda a memorizar fórmulas y expresiones sin una clara *conceptualización* de las mismas. En relación con esto, puede resultar adecuado presentar alguna expresión simbólica al alumno y pedirle su interpretación de la misma, tal como se apunta en el siguiente ejemplo:

Ejemplo 17. Física.

Sea la ecuación de Bernouilli $P_1 + \rho gh_1 + 1/2 \rho v_1^2 = P_2 + \rho gh_2 + 1/2 \rho v_2^2$.

a) ¿Qué sentido tiene el término $1/2 \rho v^2$ (2 líneas).

b) Deduce a partir de dicha ecuación la expresión de la velocidad de salida del líquido por un orificio abierto en un recipiente a una distancia h de la superficie libre. (5 líneas máximo)

c) Relacionar la ecuación de Bernouilli con el principio de conservación de la energía mecánica. ¿Qué relaciones se aprecian entre las ecuaciones de la caída libre de un objeto y la expresión deducida en el apartado b)? (10 líneas).

No incluimos aquí ningún ejemplo de *problemas y cuestiones de tipo numérico* por ser los más frecuentes en los libros de texto y ser los más ampliamente utilizados y conocidos. En todo caso, en el capítulo 6.º es posible hallar sugerencias de interés para el diseño de evaluaciones más completas.

X.6. PRUEBAS DE ENSAYO Y SINTESIS. METODOLOGIA CIENTIFICA

En las *pruebas de ensayo* se deja amplio margen a la iniciativa de respuesta del alumno, siendo posibles enfoques diferentes por parte de los distintos escolares. Una prueba de ensayo bien diseñada es un instrumento de primera magnitud para la medida y evaluación de la *capacidad de síntesis*, dado que se exige la integración de conocimientos previos en el diseño y redacción de algo nuevo, fruto de la actividad intelectual y de la capacidad constructiva.

No cabría considerar aquí la mera repetición de conocimientos ya estructurados en los libros de texto (las clásicas «preguntas» de libro). En dicho caso se trataría más bien de poner en evidencia la memorización de conceptos y de desarrollos realizados en el texto. Lo que nos incumbe aquí es la capacidad de *integrar y asociar* elementos previos en la construcción de una síntesis nueva y original.

Ejemplo 18. Física-Química-Biología.

- «La teoría cinética de los gases es un entramado de especulaciones. Contiene tantos postulados o asertos como posibilidades de predecir procesos. Esta situación no es científica.» Escribir un pequeño ensayo (de una página como máximo), bien defendiendo o bien refutando dicha afirmación.
- Comparar las arterias con las venas en lo que se refiere a su función y a su constitución. Anotar semejanzas y diferencias en ambos aspectos (una página como máximo).
- ¿Cuál es el sentido del término «comunidad» desde un punto de vista biológico? (media página).
- Criticar o defender la siguiente afirmación: «Todos los insectos son dañinos.» Localizar aspectos relacionados con la misma, en lo que se refiere a la agricultura, la economía, la fisiología, etc. (dos páginas como máximo).
- Evolución periódica de propiedades en los casos de los elementos alcalinos y los halógenos: semejanzas y diferencias (una página).
- ¿Qué es una «ley» científica? Diferencias entre leyes y teorías. Poner ejemplos.

Las propias *reseñas* o *informes* de los trabajos bibliográficos o experimentales realizados en el curso por grupos de alumnos, o por estudiantes individualmente, pueden constituir en sí mismos piezas de ensayo-síntesis del mayor interés.

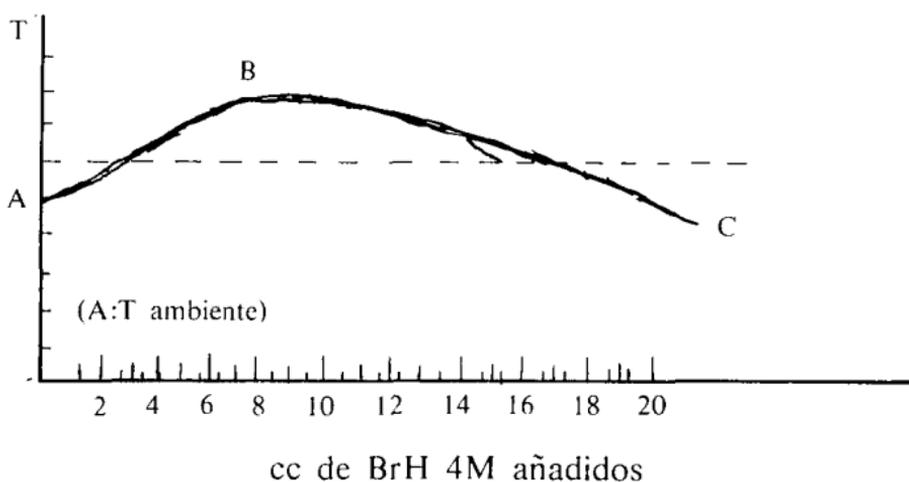
Finalmente, unas pocas palabras en relación con la evaluación de la *metodología científica*. En otros lugares hemos aludido sobradamente a que la ciencia no es sólo un conjunto de saberes (*productos*), sino también una articulación dinámica de métodos y sistemas de trabajo e investigación (*procesos*). Dependiendo del nivel educacional de que se trate, el profesor puede plantearse como objetivo despertar en el alumno un conocimiento y comprensión del proceso científico y desarrollar ciertas destrezas manuales e intelectuales en la línea procesal (métodos experimentales, utilización de aparatos de medida, análisis, tabulación e interpretación de datos, extrapolación e inferencia, construcción de hipótesis interpretativas,

etcétera). La lectura y corrección de los informes o «reports» del trabajo de laboratorio y de investigación (aunque sea sólo de tipo bibliográfico) puede ser una fuente de evaluación en esta línea, así como la *observación* individual de la meticulosidad e interés puestos en los trabajos de clase.

También mediante pruebas objetivas es posible evaluar la conceptualización y comprensión del proceso científico, así como con cuestiones y problemas cortos.

Ejemplo 19. Química (5).

En un experimento realizado para investigar el cambio de temperatura durante una reacción química, se dejó caer una disolución 4 Molar de BrH sobre 20 cc de una disolución 2 M de NaOH, representándose los datos en la forma expresada por la gráfica siguiente:



a) Haciendo uso de la gráfica, indicar cuántos cc de ácido bromhídrico se necesitaron para reaccionar con los 20 cc de NaOH (2 líneas).

b) Calcular qué fracción de una fórmula-gramo de BrH está contenida en el volumen indicado (2 líneas).

c) Usar la respuesta dada al apartado b para calcular cuántas fórmulas-gramo de BrH reaccionarán con una fórmula-gramo de NaOH (2 líneas).

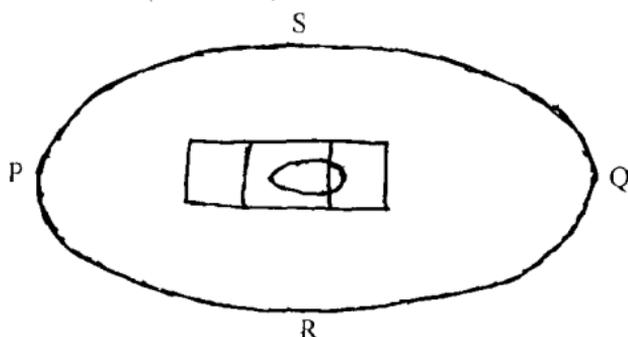
d) Representar mediante una ecuación iónica la reacción que tiene lugar cuando se mezclan las dos disoluciones (1 línea).

e) Dar una razón para el aumento de temperatura entre A y B en el gráfico (2 líneas).

f) Dar dos razones de la caída de temperatura que se aprecia entre B y C en el gráfico (4 líneas).

Ejemplo 20. Física.

Un índice de alcohol está situado encima de una mesa, en la forma que se aprecia en la figura. ¿Cuál de los apoyos P, Q, R y S debería levantarse como primer paso para nivelar la superficie de la mesa? ¿Por qué? ¿Cuál serían las siguientes operaciones a realizar? (5 líneas).



Ejemplo 21. Física (4).

Un hombre deja caer una piedra en un pozo de 10 metros de altura y mide el tiempo que transcurre desde dicho momento hasta que escucha el choque con el fondo. Estimar (aproximadamente) el tanto por ciento de error que comete al suponer que dicho tiempo es el correspondiente al de caída libre (velocidad del sonido = 334 m/seg.).

Ejemplo 22. Química.

Diseña un experimento para medir la influencia sobre la velocidad de reacción de los diferentes factores intervinientes. Toma como ejemplo la reacción de un ácido con un metal. ¿Qué instrumental de laboratorio sería necesario? Haz un gráfico o esquema con los dispositivos instrumentales que consideres conveniente utilizar o montar.

No aludimos en este capítulo a la evaluación de las destrezas manuales y de laboratorio, ni de los objetivos de tipo afectivo (actitudes e intereses). Parte de las ideas expresadas en otros lugares del libro, sin embargo, pueden resultar de utilidad en esta línea, así como la bibliografía incluida en este mismo capítulo y en el capítulo 13.

X.7. RESUMEN DEL CAPITULO

Comienza el capítulo con una revisión básica de las ideas más importantes que se barajan en la actualidad en torno al problema de la evaluación escolar. Se hace énfasis sobre el aspecto del *control* o conocimiento de los resultados del proceso didáctico, una de las metas más sobresalientes de los tests y exámenes. No es posible realizar reformas fecundas y pertinentes de nuestras clases, si previamente no conocemos con precisión los puntos flacos y las lagunas formativas que presentan nuestros alumnos, y de ahí la importancia de las ideas apuntadas en este capítulo.

Por otra parte, el diseño de exámenes rápidos, completos y, a la vez, fáciles de calificar, permite la introducción de controles o sondeos permanentes y continuos. Las pruebas objetivas pueden resultar útiles en esta línea, pero es importante construirlas con un buen grado de validez y evitar así la frecuente tendencia a evaluar con ellas aspectos puramente memorísticos (6). En la enseñanza científica, más que la acumulación de conocimientos interesa el desarrollo de la conceptualización, la comprensión, la aplicación de conocimientos, la interpretación de fenómenos y de los procesos de análisis-síntesis, y en estas direcciones deberían discurrir los enfoques evaluativos utilizados.

Otros objetivos de la evaluación (como son: el conocimiento preciso de cada alumno en particular, la realización de predicciones de tipo profesional, etc.) también son brevemente analizadas. A la vez, se ofrece una gran variedad de ejemplos de diferentes vías o alternativas de orden práctico, que no pretenden ser exhaustivas, sino más bien ilustrativas. Se incluyen

como botón de muestra, y al profesor compete (inspirándose parcialmente en ellas) investigar otras vías válidas y fecundas para evaluar.

CUESTIONES DE APLICACION Y AUTOEVALUACION

1. Compare las ventajas relativas, para la evaluación del aprendizaje científico, de los diferentes enfoques discutidos en este capítulo. ¿En qué casos convendría utilizar cada uno de ellos?

2. Ponga un ejemplo concreto (en un área científica determinada, sea ésta la Física, la Química o la Biología-Geología) de cada uno de los tipos de pruebas que se han presentado a lo largo del capítulo.

3. Critique (defendiendo o refutando) cada una de las siguientes afirmaciones:

- No es conveniente dejar utilizar libros o resúmenes en los exámenes, puesto que lo que más interesa es la evaluación del aprendizaje y la retención de conceptos y expresiones.
- No existen posibilidades de evitar el problema de las «chuletas» en las pruebas de evaluación, salvo mediante una constante vigilancia del profesor.
- Interesa diseñar exámenes e ítems objetivos con elevados índices de dificultad, con objeto de dar profundidad a la asignatura y evitar que disminuyan los niveles de exigencia.
- No conviene que los mismos alumnos participen en la corrección de las pruebas de evaluación formativa, puesto que se vería rebajada la autoridad del profesor y, además, se corre el peligro de falsificaciones y alteraciones oportunistas.

4. Diseñe una prueba de evaluación corta (reflejando los objetivos asignados a una semana de clase, o bien a una uni-

dad didáctica no muy larga), utilizando en lo fundamental ítems de tipo objetivo. Aplique dicha prueba y realice un análisis a posteriori de los ítems incluidos. Este análisis debería centrarse en los siguientes puntos:

a) Estudio del índice de dificultad de cada ítem.

b) Estudio de los índices de discriminación. Desechar aquellos ítems que tengan un índice bajo, o bien modificarlos en la forma que se estime conveniente para mejorar su calidad.

c) Análisis de distractores (en el caso de ítems de elección múltiple). Desechar o modificar los distractores que no sean escogidos por ninguno de los alumnos que hayan fallado en el ítem, o por menos de lo que parecería natural, así como aquellos que atraigan demasiado la atención de los alumnos. Analizar los errores de concepto en que incurren los escolares, de acuerdo con los tipos de distractores (falsos) que tienden a escoger.

Procure que los ítems contruidos midan con preferencia los niveles taxonómicos superiores (capacidades de comprensión, aplicación y análisis), y que se ajusten a los objetivos previstos para la unidad didáctica de que se trate.

5. Construya una prueba de evaluación larga, englobando varias unidades didácticas que constituyan un todo coherente o bien referida a una unidad didáctica de gran duración. En esta prueba es conveniente incluir ítems o cuestiones de diferentes tipos, con objeto de enriquecerla y de aumentar su grado de validez. Por ejemplo: ítems de tipo objetivo, cuestiones cortas de razonamiento y comprensión, problemas y ejercicios numéricos y no numéricos, y alguna pregunta o cuestión larga en la línea del razonamiento analítico-sintético.

6. Lleve a cabo alguna pequeña investigación, en torno a la validez y eficacia didáctica de las pruebas utilizadas. Así, se puede evaluar a una clase con pruebas de tipo objetivo, y a otra con pruebas de tipo «tradicional» (cuestiones y problemas), y estudiar las incidencias relativas de ambos procedimientos sobre el rendimiento global. También se pueden estudiar

las correlaciones existentes entre las puntuaciones otorgadas a una misma clase, utilizando pruebas o tests de distinto tipo.

Es importante tener en cuenta la siguiente observación: incluso en el caso de que las puntuaciones obtenidas con tests de ensayo-síntesis correlacionaran altamente con las correspondientes a pruebas de tipo objetivo, o de resolución de problemas, interesa hacer uso de exámenes de distintas modalidades, con objeto de que los escolares enfoquen su formación y estudio por diferentes derroteros (complementarios en muchas ocasiones). Así, mediante el uso de pruebas de ensayo se recalca la necesidad de obtener una visión sintética y global de la asignatura, mientras que los tests objetivos y de razonamiento, lo mismo que los ejercicios y cuestiones, se centran más en los procesos operacionales de comprensión, aplicación y análisis.

REFERENCIAS

- (1) BLOOM, B. S.; HASTINGS, J. T.; MADAUS, G. F. (eds.). *Handbook of Formative and Summative Evaluation of Student Learning*, McGraw Hill, Nueva York, 1971.
- (2) Artículo de L. S. Cronbach, en TAYLOR, P. A.; COWLEY, D. M. (eds.): *Readings in Curriculum Evaluation*, W. C. Brown Co., Dubuque, Iowa, 1972, pág. 11 y sigs.
- (3) Algunos de los ejemplos de pruebas objetivas los hemos construido nosotros mismos. Otros los hemos adaptado a partir de alguna de las siguientes fuentes:
 - 3.1. HEDGES, W. D. *Testing and Evaluation for the Sciences in the Secondary School*, Wadsworth Pub. Co., Belmont, California, 1966.
 - 3.2. KLOPFER, L. E. «Evaluation of Learning in Science», en BLOOM, B. S. *et. al. (op. cit.)*, pp. 559-641.
 - 3.3. FERNANDEZ URÍA, E. «Evaluación del campo cognoscitivo en las ciencias», en *Educadores*, Vol. XVII, núm. 81, enero-febrero 1975, pp. 29-42.
 - 3.4. COMBER, L. C.; KEEVES, J. P. *Science Education in Nineteen Countries*, Wiley, Nueva York, 1973, pp. 318-389.
- (4) ROGERS, E. M. «Examinations», en *Teaching Physics Today*, publicado por la OCDE. París, 1965, pp. 35-46.
- (5) NUFFIELD FOUNDATION: *Química-Curso modelo*, «Fases I y II», ed. Reverté, Barcelona, 1970.
- (6) Así, el proyecto de investigación realizado por el ICE de la Universidad de la Laguna *Sistemas objetivos de evaluación: elaboración de un banco de preguntas en función del análisis por computadora de la calidad de los ítems* (Apéndice V: Preguntas de Física y Química) se centra casi exclusivamente en los niveles intelectuales inferiores (conocimientos funcionales), y no en los de comprensión, análisis, etc.

BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTARIA

- AVERY, J. H.; INGRAM, A. W. K. *Objective Test in Advanced Level Physics*, Heinemann Educational, 1970 (Book II: 1975). Se recogen en ambos libros (el I y el II) multitud de ejemplos de ítems objetivos para la evaluación del aprendizaje de la Física en el nivel A inglés (dieciséis-diecinueve años de edad).
- CHAMPAGNE, A. B.; KLOPFER, L. E. «Formative Evaluation in Science Curriculum Development», en *Journal of Research in Science Teaching*, vol. 11, núm. 3, pp. 185-203, 1974.
- DOMENECH MASSONS, J. M. *Métodos estadísticos para la investigación en ciencias humanas*, ed. Herder, Barcelona, 1975.
- EGLIN, J. R.; KEMPA, R. F. «Assessing Manipulative Skills in Practical Chemistry», en *The School Science Review*, vol. 56, núm.

195, pp. 261-273, dic. 1974. Se analiza en este artículo un enfoque práctico para evaluar la adquisición de destrezas de laboratorio en la enseñanza de la Química.

- JEFFREY, J. C. «Evaluation of Science Laboratory Instruction», en *Science Education*, vol. 51, núm. 2, pp. 186-194, 1967. Es uno de los pocos artículos existentes en relación con la evaluación del trabajo práctico de laboratorio.
- LAFOURCADE, Pedro D. *Evaluación de los aprendizajes*, Kapelusz, Buenos Aires, 1969. Un tratado ya clásico sobre la evaluación escolar y los diferentes métodos a utilizar.
- LOWRIE, R. S. (ed.). *Multiple Choice Questions in A-Level Chemistry* (3 libros), Pergamon Press. Se recogen aquí ejemplos de ítems de elección múltiple para la evaluación en la Química del nivel A inglés (dieciséis-diecinueve años).
- MORALES, Pedro. *Manual de evaluación escolar*, ed. Hechos y Dichos. Zaragoza, 1972. Un libro introductorio y muy práctico. Se incluyen diferentes vías de evaluación y, además, se hace un estudio aplicado en relación con el análisis estadístico de los datos obtenidos en las pruebas y exámenes.
- NEDELSKY, Leo. *Science Teaching and Testing*, Harcourt, Brace and World. Nueva York, 1965.
- NELSON, C. H. *Mediciones y evaluación en el aula*, ed. Kapelusz, Buenos Aires, 1971.
- SIMPSON, O. J. *Multiple Choice Chemistry*, ed. Edward Arnold, 1969. Las cuestiones de elección múltiple recogidas en este libro se dirigen a escolares de once-dieciséis años de edad (nivel O inglés).

Aparte de la bibliografía arriba citada, existe un interesante número monográfico de la revista *Vida Escolar* (núms. 151-152, sep.-oct. 1973) dedicado al problema de la evaluación. Por otro lado, en la mayoría de los libros de texto y proyectos didácticos que se reseñan y analizan en el capítulo 13 se incluyen ejemplos de pruebas de evaluación de gran diversidad e interés.

XI. PASADO, PRESENTE Y FUTURO DE LA EDUCACION CIENTIFICA

XI.1. LA EVOLUCION DE LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS

Las enseñanzas científicas (y no así la enseñanza de las Matemáticas, que tiene una tradición más antigua) han sido introducidas con bastante dificultad en los niveles elementales y medios; incluso en los niveles universitarios ha sido tradicional la inercia existente en contra de su inclusión, habiendo tenido que disputar su puesto con las humanidades a lo largo de varios siglos. Así, Leboutet, refiriéndose a la enseñanza de la Física en las universidades francesas, comenta a este respecto (1):

«No se encuentra ninguna pista de enseñanza de la Física en las escuelas antes del siglo XVII. En una época en la que, después de Descartes (1596-1650) y Newton (1643-1727), la Física experimental, popularizada por el abate Nollet, se extendía por los salones, la ciencia de la época penetra difícilmente en las universidades francesas, en las que reinan los estudios clásicos; las teorías de Descartes, así como la de Newton concerniente al movimiento y la gravitación, suplantán con dificultad a la escolástica de Aristóteles en la enseñanza universitaria de los siglos XVII y XVIII.»

Nuestro problema aquí, sin embargo, no se centra en la enseñanza científica de las universidades, sino en la de los niveles elementales y medios (2). No cabe duda, sin embargo, que ha existido tradicionalmente una fuerte correlación entre dichos niveles y los niveles superiores, dado que es de los centros de formación superior donde procede el profesorado de los restantes ciclos. Difícilmente cabe pensar en una ense-

ñanza de las ciencias altamente prestigiada en los ciclos elementales, si dicha enseñanza no ha encontrado un lugar de honor en los estudios universitarios.

En España la situación no ha sido mejor que en los restantes países europeos, sobre todo si se tiene en cuenta la escasa tradición científica de este país. Además, cabe añadir a este aspecto el carácter elitista y diferenciador que ha adoptado el Bachillerato a lo largo del siglo XIX no solamente en España, sino también en otros países europeos. Los planes de estudio decimonónicos en los niveles secundarios españoles solían hacer un énfasis prioritario sobre los aspectos literarios y humanísticos, quizá más con vistas a crear barreras infranqueables a las clases socialmente desventajadas, que a dotar de una verdadera y sólida formación a los escolares. Es de interés, en este sentido, citar algunas de las líneas maestras de los diferentes planes de la educación secundaria (3):

Plan de 1845: «Ha sido preciso dar de nuevo a las humanidades toda la importancia que habían perdido. Las lenguas antiguas serán siempre, por más que se diga, el fundamento de la literatura y de los buenos estudios.» Plan de 1850: se afirma en él que la lengua griega «debería ser una de las bases de la enseñanza secundaria», aunque también se considera de interés «cimentar la educación en el principio religioso» y «fomentar el estudio del latín». Plan de 1852: en éste «se aumenta el número de años, el tiempo y las horas de estudio del latín», alternando dicho estudio con «las humanidades y con la doctrina cristiana, base de toda ciencia».

Esta postergación de los estudios científicos no podía durar mucho tiempo, sin embargo, dada la creciente irrupción de esquemas tecnológicos y de estructuras industriales, incluso en nuestro país. Ya en el capítulo 3.º aludimos a la creciente penetración, dentro del espíritu burgués, de los enfoques inductivos y experimentales del aprendizaje, así como al interés manifiesto, a partir del siglo XVI, por conocer de forma objetiva el mundo natural circundante. De esta manera, aunque más bien tímidamente, se comenzaron a introducir contenidos de tipo científico-naturalista en los niveles secundarios y superiores del aprendizaje (el plan de 1852, en el caso del Bachillerato

español, reserva cierta cantidad de tiempo a este tipo de estudios); esto, sin embargo, no supuso un avance decisivo, dado el escaso porcentaje de jóvenes con posibilidad de acceso a esos niveles.

Bajando a los ciclos elementales del panorama educativo, cabe localizar en Europa, a mediados del siglo XIX, una tímida introducción de contenidos naturalistas, en gran parte de los casos relacionados y entremezclados con los estudios de la Geografía. En los Estados Unidos, por contraste, se hace sentir fuertemente dicho tipo de contenidos, dado el carácter burgués, utilitario y abierto de la sociedad de la época en dicho país. De esta manera, cabe localizar las siguientes etapas en el desarrollo de la enseñanza científica elemental (4):

1850-1870: Marcada influencia de los enfoques pestalozzianos, centrados sobre el estudio y la manipulación de objetos. Las metas educativas se dirigen a la observación, descripción y memorización de objetos animados e inanimados, más que a un estudio analítico, ordenado, sistematizado o «científico».

1870-1890: Se introducen enfoques formalizados y programas bien estructurados, coincidiendo con una creciente influencia de las ideas de Herbert Spencer. Los métodos de enseñanza, sin embargo, se mantienen anticuados y poco acordes con los tiempos.

1890-1920: Se potencia la utilización del laboratorio escolar y de otros métodos didáctico-inductivos. En énfasis se localiza sobre la Biología, aunque los temas abordados lo son de una forma más bien fragmentaria y yuxtapuesta.

1920-1950: Se hacen notar las influencias pragmatistas de John Dewey y de Williams James, las que acarrear un acusado énfasis sobre las aplicaciones prácticas de los principios científicos, así como sobre los aspectos personales y sociales de la enseñanza. Se comienza a dar tanta importancia a los procesos (metodología científica) como a los productos (contenidos y conceptos incluidos en los libros de texto).

XI.2. ANALISIS COMPARATIVO DE LA SITUACION ACTUAL

A partir de los años 50 se manifiesta una eclosión universal en la enseñanza científica de los niveles elementales y medios. En realidad fue en la Unión Soviética donde se comenzó la reforma de la enseñanza de las Ciencias, incluso desde los años siguientes a la Revolución de Octubre. Lenin, en numerosas ocasiones, se refirió al papel crucial que habría de jugar la educación técnico-científica en el desarrollo de una sociedad dinámica e industrializada. Una cita de este político puede resultar muy ilustrativa en relación con el problema que nos incumbe (5):

«La reconstrucción de la industria no puede realizarse sobre las bases antiguas: la industria debe reconstruirse según la nueva técnica. Esto significa la electrificación industrial y la *elevación del nivel de la cultura*. Para construir las centrales eléctricas se precisan unos diez años de trabajo, pero de un trabajo muy consciente y dimanado de una gran cultura.» (Lo subrayado es nuestro.)

Esta filosofía condujo a fuerte crecimiento de la educación popular, de la que formaba parte insoslayable el aprendizaje de las Ciencias, sobre todo de las Matemáticas y de la Física (más adelante volveremos a incidir sobre este aspecto de la educación socialista). Que este enfoque resultó fructífero nos lo demuestra el espectacular desarrollo de la economía soviética, a partir de unos niveles agrarios y primitivos. El lanzamiento del «Sputnik», en agosto de 1957, supuso un intenso aldabonazo sobre las concepciones pedagógicas de los países occidentales.

Un primer eco cabe localizarlo sobre la activación de los resortes de la política educativa estadounidense, en lo que se refiere a la educación científica. Es curioso constatar cómo la raíz más profunda de la renovación de este campo educativo no se localiza en una suficiente consciencia del papel cultural

de las ciencias, sino en la necesidad manifiesta de elevar el nivel tecnológico, tanto desde el punto de vista industrial como militar y de competencia internacional (prestigio y buena imagen). En el capítulo 3.º aludimos, en este sentido, a la creciente interrelación entre las ciencias y las tecnologías, lo que ha llevado a bautizar el momento presente de «revolución científico-técnica». En los Estados Unidos, sin embargo, ya existía una conciencia, anterior a 1957, acerca del papel cultural y humanística de la enseñanza de las Ciencias (ver, en relación con esto, el apartado anterior, así como el capítulo 4.º, en lo que se refiere al trabajo de Conant en la Universidad de Harvard). Este papel, con ocasión de los puntos antes expresados, se tiñó de fuertes connotaciones sociales y nacionales a partir de los años finales de la década de los 50, siguiendo en gran medida el modelo de los países socialistas.

Los primeros pasos que se siguieron a partir de 1956-1957 se enfocaron sobre la potenciación de la enseñanza de las Ciencias en los cursos secundarios anteriores a la enseñanza universitaria. Diversos organismos estadounidenses, entre ellos la *National Science Foundation* y la *American Association for the Advancement of Science*, dedicaron fondos sustanciosos para el desarrollo de nuevos programas, que contribuyeran a enriquecer la enseñanza científica a nivel de High School (Bachillerato), así como en las Primary y las Junior High Schools (Educación Básica). Frutos de este esfuerzo fueron los célebres cursos: PSSC, del Physical Science Study Committee; CBA, o Chemical Bond Approach Project; BSCS, o Biological Sciences Curriculum Study; ESP, o Earth Sciences Project; ESS, o Elementary Science Study; SCIS, o Science Curriculum Improvement Study, etc. En el capítulo siguiente se resumen y analizan brevemente las características esenciales de gran parte de estos proyectos estadounidenses, así como de algunos de los europeos.

Los proyectos secundarios estadounidenses se dirigían más hacia la formación inicial de alumnos con vocación profesional hacia las ciencias o hacia las tecnologías, que hacia la mayoría de los escolares con inclinación humanística. La exposición de motivos en las introducciones o prólogos de los

libros publicados, sin embargo, hacían gala de todo lo contrario. Así, en el prefacio a la 1.^a edición del PSSC se dice que «el curso atrae a los estudiantes inclinados hacia las Humanidades tanto como a aquellos interesados por las Ciencias». En el curso CHEM (Chemical Education Material Study), de acuerdo con Seaborg, se pretendía algo semejante, siendo una de sus supuestos metas «fomentar, en aquellos estudiantes que no continuarán el estudio de la Química después de las escuelas secundarias, una comprensión de la ciencia en las actividades humanas presentes y futuras» (6). Probablemente, sin embargo, las intenciones eran otras, estando más en la línea de *atraer* escolares hacia los estudios científicos, dadas las necesidades del país en las áreas tecnológicas y de investigación. Es de destacar, en este sentido, que los estudios de Ciencias son optativos en los Estados Unidos a partir de los catorce años de edad, estando centrados en las asignaturas de Biología (en el grado 10.^o), Química (en el grado 11.^o) y Física (en el grado 12.^o o año terminal del Bachillerato). Desde comienzos del siglo actual se ha hecho notar un acusado descenso en el porcentaje de alumnos que escogen alguna asignatura de contenido científico en la High School (Bachillerato), y de ahí la necesidad de reclutar a los más inteligentes.

Dado el carácter prevocacional y preespecializador de los nuevos proyectos didácticos, se requirió la colaboración de destacados científicos en el diseño de los mismos, junto con la de equipos de profesores especializados y de psicopedagogos (Seaborg, por ejemplo, uno de los directores del CHEM, era Premio Nobel de Química). Se elaboraron los cursos y el material didáctico correspondiente (libros, películas, material de laboratorio) a lo largo de varios años, los cuales supusieron pruebas previas y revisiones y evaluaciones periódicas, hasta alcanzarse un nivel considerado como satisfactorio. Los enfoques pedagógicos de estos nuevos programas, en el nivel secundario, se solían centrar más intensamente en el dominio de *conceptos básicos* y de la *metodología científica* que en el estudio superficial de muchos temas o tópicos. Las características esenciales de estos enfoques, en relación con las tendencias previas imperantes en los Estados Unidos (y en gran parte

de los países todavía en la actualidad), pueden sintetizarse en los siguientes puntos, obtenidos y adaptados a partir del análisis de Hurd (7):

TENDENCIAS TRADICIONALES O «HUMANISTICAS»

Objetivos definidos en términos personales y sociales

Currículo centrado en el estudiante

Resolución de problemas

Responsabilidad local y del centro escolar en el desarrollo de programas

Énfasis en los aspectos de información y en los conocimientos o «productos»

Visión panorámica de muchos temas, aspectos y conceptos

Ciencia descriptiva y aplicada

Énfasis en hechos básicos

Ejercicios de laboratorio

El laboratorio sigue a la discusión en clase de conceptos (laboratorio de «comprobación»)

Educación centrada en la comprensión del mundo actual

Secuencias de aprendizaje escogidas por el profesor

Cursos contruidos a base de unidades didácticas o de información

Cursos diseñados a un nivel uniforme de conceptualización

NUEVAS TENDENCIAS O TENDENCIAS «CIENTIFICAS»

Objetivos definidos en términos de competencias intelectuales

Currículo centrado en la disciplina

Modos de indagación e investigación

Responsabilidad nacional, interviniendo científicos en la elaboración de los cursos

Énfasis en la ciencia como «modo de investigación» y en los procesos

Estudio en profundidad de unos pocos temas, buscándose la comprensión razonada

Ciencia interpretativa y teórica

Énfasis en los modelos y en las teorías

Experimentos de laboratorio (técnicas de investigación)

El laboratorio es parte integrante del proceso educativo

Educación para el cambio y el futuro

Secuencias dependientes de la estructura lógica de la disciplina

Cursos diseñados en torno a esquemas conceptuales o conceptos básicos, de forma coherente y estructurada

Cursos concebidos a niveles crecientes de complejidad

Se trataba, en resumidas cuentas, de un paso hacia la estructura de la disciplina, huyendo de los aspectos «superficiales» o personales (la inspiración cabe localizarla en gran medida en los cursos soviéticos para la enseñanza científica). Era un avance hacia líneas más rigurosas de aprendizaje, dado el carácter preuniversitario de los cursos y su destino a la minoría de los alumnos con vocación profesional hacia las ciencias. Estos cursos, que a veces han sido denominados como «primera generación de proyectos», han sido sucedidos por otros en Inglaterra y en los mismos Estados Unidos, con características en parte semejantes y en parte renovadas.

En Inglaterra, de forma similar a lo que ocurre en los Estados Unidos, la organización escolar está muy poco centralizada. La estructura educativa (a diferencia de este segundo país) tiene un alto grado de estratificación, de forma que se seleccionan rigurosamente a los alumnos que han de pasar a los niveles o estratos superiores («screening process»). Las etapas más destacadas son las siguientes:

- Enseñanza primaria, de los cinco a los once años de edad.
- Enseñanza secundaria (O-Level o nivel «ordinario»), de los once a los dieciséis años.
- Enseñanza avanzada (A-Level o nivel «avanzado»), de los dieciséis a los dieciocho-diecinueve años, que abre el camino a los estudios universitarios.

Existe una fuerte optatividad, de manera que los alumnos pueden escoger libremente gran parte de las materias o asignaturas a seguir. Esta situación, sin embargo, ha sido muy criticada por el Dainton Report (8), dado que condiciona a tempranas edades (desde los once años de edad casi siempre) la elección irreversible de contenidos curriculares. Ya en el nivel O se polarizan los alumnos hacia los campos de ciencias o de letras, lo cual ha sido muy debatido.

No todos son defectos en este sistema, sin embargo, dado que la elección de unas pocas asignaturas, que son seguidas a lo largo de cinco años en el nivel ordinario, posibilita una fuerte profundización y comprensión de los temas tratados. Se

trata de una enseñanza especializada, sin embargo, y esta línea no está muy de acuerdo con las tendencias actuales hacia una formación más comprensiva, global o generalizada, por lo menos hasta los dieciséis años de edad (ver el capítulo 4.º).

La reforma de la enseñanza científica en Inglaterra cabe remontarla a 1957, cuando la Asociación de Catedráticos de Ciencias (Science Master's Association) comenzó a analizar detalladamente el papel de las ciencias en la educación. A partir de 1961, y con la ayuda de la Nuffield Foundation, se han desarrollado una serie de proyectos y programas didácticos y curriculares, gran parte de los cuales han sido traducidos al castellano. Estos proyectos han abarcado las siguientes áreas (1):

- Física Nivel Ordinario (desarrollada entre 1962-1967).
- Física Nivel Avanzado (1967-1972).
- Química Nivel Ordinario (1962-1967).
- Química Nivel Avanzado (1965-1969).
- Biología Nivel Ordinario (1963-1965).
- Biología Nivel Avanzado (1965).
- Ciencia Elemental (Junior Science), para alumnos de cinco-once años de edad (1964-1966).
- Ciencia para los cinco-trece años (1967-1972).
- Ciencia Combinada, para los once-trece años (1965-1969).
- Curso Integrado del Schools Council, para los trece-dieciséis años (1973-1975).
- Ciencia Secundaria, para los trece-dieciséis años (1965-1970).
- Tecnología para el Nivel Ordinario (1966-1972).
- Tecnología para el Nivel Avanzado.

La mayor parte de los proyectos son sometidos a revisiones periódicas, de manera que se producen nuevas ediciones actualizadas de algunos de los cursos. Este aspecto les da un carácter dinámico y evolutivo a los programas ingleses, lo que los diferencia de los estadounidenses. La formación permanente del profesorado se tiene muy en cuenta dentro del proce-

so renovador, dado que sin dicho reciclaje difícilmente se encontrarían los docentes en condiciones de afrontar las nuevas técnicas didácticas e infundir el espíritu crítico-científico en ellas implicado. En esta formación permanente juegan un papel importante los Centros de Profesores ingleses (9), así como la Asociación de la Didáctica de las Ciencias (Association for Science Education).

Los proyectos ingleses tienen un carácter más inductivo y experimental que los estadounidenses, los cuales hacen más énfasis en los enfoques de tipo deductivo. En el capítulo siguiente se analizarán con algún detalle las características de algunos de estos programas. Se hace en ellos uso abundante del laboratorio, lo cual requiere indudablemente de una adecuada infraestructura, tanto en relación con las dotaciones económicas como en lo que se refiere a instalaciones, disponibilidad de tiempo, existencia de ayudantes o laborantes escolares, etc.

Otros países han comenzado también a desarrollar sus propios comités de trabajo y de elaboración de material didáctico. En algunos, como es el caso de España y el de Francia, se ha acometido la traducción y adaptación de los proyectos anglosajones. La tabla número 1, que sintetiza la incluida en un estudio más extenso (10), refleja la situación de algunos de los países en los cuales tienen lugar reformas acusadas en el área de la enseñanza científica.

El caso de la Unión Soviética no aparece recogido en dicha tabla 1, pero ha sido analizado en diferentes ocasiones (11). La enseñanza científica tiene un elevado peso específico en este país, y una tradición que se remonta a los años anteriores a la Segunda Guerra Mundial. La asignatura más favorecida es la Física, la cual, como las demás materias del currículo escolar, es obligatoria para todos los estudiantes. Así, se enseña Física en los grados 6.º, 7.º y 8.º, y también en los 9.º, 10.º y 11.º (estos últimos pertenecientes a las escuelas secundarias). Los cambios en los sistemas y planes educativos soviéticos son graduales o periódicos, siguiendo la tónica marcada por la economía y otros aspectos de la administración del país; en los países occidentales, por contraste, se suceden más bien refor-

	Física (1) (2)	Química (1) (2)	Biología (1) (2)	Integración de Enseñanza (1) (2)	Tecnología (1) (2)	Ciencia en General (1) (2)	Formación del Profesorado (1) y (2)
Alemania	X	X	X			X	
Australia	X	X	X	X	X	X X	
Canadá	X					X X	
Estados Unidos	X X	X X	X X	X X	X X	X X	X
Gran Bretaña	X X	X X	X X	X X	X	X	X
Holanda		X					
Japón	X	X	X	X		X	X
Países Escandinavos .	X	X					
UNESCO	X						

- (1) Niveles primarios
(2) Niveles secundarios

(Cuadro elaborado a partir del recogido por Leboutet, referencia 1.)

TABLA 1

mas o cambios drásticos, en lugar de una revisión periódica y programada de los planes de estudios. En las últimas renovaciones que han tenido lugar en la URSS, se ha hecho un mayor énfasis en los aspectos técnicos y aplicados de las ciencias, así como en sus conexiones con la evolución social. En las escuelas secundarias, este énfasis refleja una tendencia hacia posturas politécnicas, tal como hemos ya analizado en el capítulo 3.º.

El sistema educativo soviético, de forma semejante al inglés, está cuajado de exámenes o «reválidas», con objeto de seleccionar a los alumnos más capacitados para el acceso a los niveles formativos superiores. En el caso de las ciencias, estos exámenes son bastante exhaustivos y rigurosos, haciéndose en ellos énfasis sobre los aspectos numéricos y de resolución de problemas. Las cuotas de admisión a los niveles superiores vienen dictadas, en gran medida, por los planes estatales ligados a la economía y a la administración nacionales.

Es interesante constatar un fenómeno en la Unión Soviética similar al que referimos anteriormente en relación con la problemática estadounidense: la necesidad, cada vez más manifiesta, de atraer y reclutar un número adecuado de alumnos de suficiente capacidad intelectual hacia los estudios universitarios y especializados de tipo científico y tecnológico. Ya vimos antes que la «Primera Generación de Proyectos», en los Estados Unidos, tenía como objetivo fundamental atraer a los alumnos más capaces y sentar unas bases sólidas para la futura formación universitaria en la Física, la Química, la Biología o las Tecnologías. En la URSS, sobre todo a partir de 1963, se han creado las llamadas «olimpiadas científicas», centradas en los conocimientos y en la habilidad de resolución de problemas de los estudiantes de secundaria. En estas olimpiadas se seleccionan los escolares más capaces y con una mayor inclinación hacia los derroteros científicos; vienen facilitadas las mismas por el hecho de existir programas de estudios bien trazados y delimitados en todo el país, aunque excesivamente rígidos en ocasiones.

Un estudio internacional comparativo de gran envergadura, encaminado a dilucidar la situación actual en el campo de la

enseñanza científica, ha sido el recientemente realizado por la Asociación Internacional para la Evaluación de Resultados Educativos (IEA). Ha abarcado este estudio los siguientes países: Australia, Bélgica, Chile, Escocia, Estados Unidos, Finlandia, Francia, Holanda, Hungría, India, Inglaterra, Irán, Italia, Japón, Nueva Zelanda, República Federal de Alemania, Suecia y Tailandia (12). En este estudio se diseñó un conjunto de tests objetivos, con objeto de evaluar la formación científica existente. Se trata, por su envergadura, del proyecto de investigación más ambicioso llevado a cabo hasta la fecha en el campo de la educación comparada. Además del área científica, se han incluido en la investigación las siguientes áreas educativas: las Matemáticas (13), la Literatura, la Comprensión Lectora, el Inglés y el Francés como segundas lenguas y, finalmente, la Educación Cívica. No vamos a dar detalles específicos del estudio, dado que ello nos llevaría demasiado lejos, y nos limitaremos a reseñar los aspectos más destacados puestos en evidencia.

La mayoría de los países incluidos en la muestra establecen a los quince años de edad la terminación de los estudios obligatorios, aunque a lo largo de los últimos años ha ido en aumento el porcentaje de alumnos que acceden a los niveles superiores de la educación secundaria (catorce-dieciocho años de edad). En los niveles elementales (cinco-once años) la enseñanza de las ciencias se encuentra en un estado más bien rudimentario, siendo de naturaleza fundamentalmente descriptiva; en los niveles secundarios bajos (once-catorce años) la enseñanza científica forma parte de los currículos de todos los países analizados, aunque se hace escaso énfasis en las actividades de laboratorio (tanto de tipo inductivo como deductivo). Es interesante constatar que en las fases iniciales y básicas el trabajo práctico de laboratorio controlado es más eficaz que la investigación informal o abierta, y que en los niveles superiores los métodos de investigación libre no comportan necesariamente resultados beneficiosos (ver el capítulo 7.^o).

A partir de los catorce-quince años comienza la diversificación en ramas científicas separadas (Física, Química, Biología,

Geología), aunque en algunos países (como el caso de Inglaterra) comienza antes; esta última situación, sin embargo, es poco frecuente. En Francia, Italia y Suecia los estudiantes siguen a partir de los quince o dieciséis años programas optativos diferentes, de acuerdo con sus futuras especializaciones. El caso de los Estados Unidos es ligeramente distinto: en los grados 7.º, 8.º y 9.º se estudia ciencia general o integrada, como sucede en la mayoría de los países, y a partir de los quince años existe una estratificación vertical de tipo optativo: se estudia Biología en el grado 10.º, Química en el 11.º y Física en el 12.º (quince, dieciséis y diecisiete-dieciocho años de edad, respectivamente).

En cuanto al énfasis relativo sobre las diferentes ramas científicas, suele ser la Física la rama más favorecida, seguida por la Química y, finalmente, por la Biología. Existen excepciones, como en Alemania, donde se da más importancia a la Química (quizá debido a la peculiar estructura industrial y científica de este país). En Estados Unidos se da gran importancia a los estudios de Biología, tanto en los niveles elementales como en los secundarios. No se suelen integrar casi nunca los estudios de Geología con los de Biología, salvo en los niveles elementales y básicos, y el caso español es bastante peculiar en este sentido.

Se han detectado, en el estudio internacional, aspectos relacionados con el sexo de los estudiantes. Así, los muchachos demuestran un mayor interés por las ciencias que las muchachas, localizándose este interés especialmente en la Física y en la Química. Incluso en los tests de Biología (hacia cuyos estudios demostraron un mayor interés los estudiantes del sexo femenino) puntuaron más alto los varones, aunque las diferencias resultaron en este campo menores que en los casos de la Física y de la Química. Estas últimas observaciones pueden ayudar a completar el panorama de la educación científica en la actualidad, bosquejado a lo largo de los anteriores párrafos.

XII.3. ¿HACIA DONDE VA LA EDUCACION CIENTIFICA?

A partir del análisis realizado en los anteriores apartados, y haciendo uso de algunas otras fuentes bibliográficas adicionales, es posible detectar la presencia de diversas líneas maestras, en lo que se refiere a la evolución futura de las enseñanzas científicas en los niveles elementales y secundarios. Estas líneas no son las mismas en todos los países, por supuesto, y por ello nos centraremos fundamentalmente en la órbita occidental, la cual hemos estudiado más detalladamente.

1.º Se manifiesta una tendencia universal a la inclusión de contenidos científicos a partir de los niveles escolares más elementales. Esta tendencia ha ido «in crescendo» a partir de los comienzos del siglo actual. Incluso se ha planteado la conveniencia de introducir conceptos y operaciones en los *niveles preescolares*, con un sentido propedéutico o preparatorio (14): «Esta propedéutica consistiría simplemente en ejercitar la observación, la cual se trata de una actividad nada despreciable; las investigaciones han demostrado que a este nivel preescolar las constataciones mismas son no tan sólo simples e incompletas, lo cual es discutible, sino que además, y en muchos casos, están sistemáticamente deformadas por las ideas preconcebidas del sujeto.»

2.º La temprana introducción de conceptos científicos requiere de un estudio más detallado de la *psicología del aprendizaje* y del desarrollo, así como de las vías accesibles para adaptar dichos conceptos a la química mental y las estructuras lógicas del niño. En este sentido han proliferado últimamente, y van a proliferar todavía más, los proyectos didácticos para la enseñanza científica básica, que procurarán una fiel acomodación a la mentalidad infantil y a los modos naturales de aprendizaje (ver los capítulos 5.º y 12.º).

3.º Aparentemente, el énfasis se va a polarizar cada vez más sobre los *procesos y métodos* científicos, huyéndose de la introducción exhaustiva de conocimientos y contenidos. Se va a procurar despertar el interés del alumno por «pensar científicamente».

camente», y se va a poner más el acento sobre la conceptualización y la comprensión que sobre la memorización.

4.º Una tendencia constatada por el Proyecto de Evaluación Internacional es la que se refiere a la creciente utilización del *laboratorio escolar*; la filosofía de esta utilización se mueve en la línea de fomento del espíritu investigador (y de desarrollo de las habilidades de interpretación de fenómenos y de realización de generalizaciones). En este sentido se han desarrollado la mayor parte de los proyectos didácticos anglosajones (ver el capítulo siguiente).

5.º Dadas las crecientes interrelaciones que enlazan las diversas ramas de la ciencia, se aprecia una tendencia hacia la introducción de *enfoques unificados o integrados*, por lo menos en los niveles elementales y secundarios bajos (hasta los catorce-quince años de edad). Se va a procurar cada vez más atenuar o destruir las barreras conceptuales interpuestas entre las asignaturas o materias de tipo científico, localizándose los aspectos metodológicos e interpretativos comunes. Las vías de coordinación, correlación y resolución comprensiva de problemas (método de proyectos), apuntadas en el capítulo 9.º, serán de gran fecundidad en el futuro. Respecto a la problemática de la formación del profesorado, en relación con este punto, véase el siguiente apartado.

6.º El problema de *reclutamiento* de estudiantes capaces para las Facultades y Escuelas Técnicas continuará previsiblemente vigente en los países más desarrollados. Las líneas a seguir, sin embargo, adoptarán con toda probabilidad direcciones diferentes de las potenciadas en los Estados Unidos, en Inglaterra y en la Unión Soviética hasta el momento. Se irá más hacia una formación científica generalizada, y no especialmente diseñada para un conjunto de estudiantes interesados en edades tempranas (caso de Inglaterra) o en edades medias (caso de los Estados Unidos). A partir de una formación extensa y adecuada a la edad y las características de los alumnos, se sembraría convenientemente el campo de cultivo de las futuras vocaciones. El excesivo rigor en los estudios secundarios (caso de la URSS) no es probablemente el camino más

adecuado para favorecer el espíritu crítico y los intereses científicos generalizados.

7.º Aunque los proyectos didácticos estadounidenses de la década de los años 60 (PSSC, CHEM, etc.) supusieron un movimiento positivo hacia una enseñanza científica más orgánica, estructurada y lógica, dejando en un segundo término los aspectos humanísticos, aplicativos y tecnológicos, se va cada vez más a una conjunción de ambas vertientes. Así, consideramos que se van a localizar de forma operativa las interrelaciones existentes entre *las ciencias, las humanidades y las tecnologías*, con objeto de dotar a la enseñanza científica de resortes interdisciplinares y aplicativos, todos ellos de gran valor educacional para el alumno (ver los capítulos 3.º y 4.º). Pero todo esto sin olvidar el carácter orgánico y estructurado del edificio científico. El proyecto de Física desarrollado en Harvard, y que se reseña en el siguiente capítulo, ha supuesto un avance positivo en esta línea.

8.º Se aprecia una notable tendencia, muy interesante desde nuestro punto de vista: se refiere ésta a la introducción de enfoques que contribuyan a una clara conceptualización del *significado epistemológico* de los conceptos científicos. Así, comienzan a abundar las metodologías didácticas que ponen el acento sobre los apoyos experimentales y deductivos de los conceptos, modelos y teorías introducidos. Los esquemas conceptuales, en lugar de estudiarse desde una perspectiva dogmática y rígida se enriquecerán con sus circunstancias históricas y filosóficas, aumentando de esta manera su sentido y significado (ver los capítulos 2.º y 8.º).

9.º Cabe referirse una vez más a las últimas tendencias en el *campo del diseño y la construcción del currículo*. Las líneas emprendidas en los países anglosajones, conducentes a una estructuración lógica de la enseñanza científica con apoyo de psicólogos, pedagogos, científicos y profesionales de la docencia, se extenderán sin duda a los restantes países. Las sociedades o asociaciones de profesores de ciencias jugarán un importante papel en este sentido, y la enseñanza de esta área educativa cobrará un carácter general, así como una atención y un apoyo a nivel nacional. No puede ser menos, dada la

creciente implicación del desarrollo científico-tecnológico sobre las estructuras sociales.

10.º La problemática de la educación para el tiempo libre y para la recepción crítica de los medios de comunicación modernos, tantas veces analizada en los últimos tiempos (15), tendrá también un reflejo importante en el campo de la enseñanza científica. Se procurará, en este sentido, dotar al alumnado de los elementos idóneos para que pueda integrarse plena y conscientemente en el mundo del futuro; y esto, tanto en lo que se refiere a los aspectos instrumentales (formación científico-tecnológica relevante) como a los culturales.

XI.4. LA FORMACION DEL PROFESORADO DE CIENCIAS

Las ideas apuntadas en el apartado anterior, así como en los restantes capítulos del libro, encierran implícitamente un conjunto de vías y canales por los cuales deberán probablemente discurrir las estructuras de formación del profesorado en el futuro.

En primer lugar, conviene hacer patentes las notables deficiencias formativas, tanto en las Escuelas Normales como en las Facultades Universitarias, que existen en relación con el desarrollo de habilidades de experimentación y con la conceptualización coherente de la naturaleza filosófica de los contenidos recibidos. Los cursos universitarios son, en lo fundamental, cursos de contenidos y no cursos de métodos o procesos (16). De ahí que el profesor incipiente se centre sobre los «productos» de la ciencia (modelos, teorías, etc.), y que encuentre notables dificultades para introducir el espíritu de indagación inherente al proceso científico. Conviene decir, en este sentido, que dicho espíritu no está necesariamente relacionado con el laboratorio escolar o con los métodos inductivos (ver el capítulo 6.º), y que se refleja en toda la metodología didáctica utilizada en clase (así, se pueden distinguir las clases eminentemente «discursivas» de las «dogmáticas» y las «directivas»).

Tampoco se estudian con precisión, en los centros universitarios, los aspectos humanísticos de la ciencia: sus etapas de desarrollo histórico, las relaciones existentes con el entorno sociocultural, las implicaciones en el orden tecnológico de determinados avances conceptuales, etc. Resumiendo toda esta problemática, la American Association for the Advancement of Science (AAAS) ha puntualizado recientemente las siguientes necesidades de formación (17):

1.º Unos conocimientos adecuados en relación con el significado cultural de las ciencias, así como con las interrelaciones ciencia-sociedad y ciencia-tecnología.

2.º Una conceptualización clara acerca de la naturaleza filosófica y experimental de la ciencia de que se trate, reflejada en la estructura epistemológica de sus diferentes elementos y métodos (vean los capítulos 6.º y 2.º).

Finalmente, conviene aludir a las barreras de acción que comportan los estudios universitarios excesivamente especializados en un área única, en detrimento de una formación más amplia, global o integrada. Efectivamente, las modernas tendencias hacia una *enseñanza más unificada* de los diferentes aspectos de la ciencia choca con la formación sesgada de la mayor parte de los graduados universitarios. David Ost ha resumido este punto en las siguientes palabras (18):

«La formación del profesorado, sea ésta la inicial o la formación permanente, es un factor de gran importancia, que debe ser abordado de forma realista. Los individuos orientados hacia la disciplina deben ser reorientados si han de trabajar con éxito en currículos unificados. Los planes de estudios superiores, orientados hacia la disciplina, son ciertamente obstáculos de gran magnitud. Hay evidencias que sugieren que las Universidades se están desplazando en la línea de estructuras más interdisciplinares.»

Sería de gran interés, en este contexto, dar un carácter más flexible a los planes de estudio de las Facultades de Ciencias y a la estructura universitaria en general. Así, consideramos que

se debería ofrecer la posibilidad de seguir un programa combinado en diferentes ciencias (en los ciclos segundos o ciclos de licenciatura) a los estudiantes con vocación docente hacia los niveles elementales y secundarios. Esta formación, probablemente, cerraría las vías a salidas profesionales distintas y habría de estudiarse con detalle la problemática implicada (las características de este libro nos impiden profundizar más en este aspecto).

Tanto en los cursos para la formación inicial de los docentes (desarrollados en las Facultades, las Escuelas Universitarias y los Institutos de Ciencias de la Educación) como en los cursos y seminarios de reciclaje y actualización, convendría poner un mayor o menor acento sobre los siguientes aspectos:

- La naturaleza de las ciencias y de los procesos científicos.
- Aspectos humanísticos y sociológicos.
- Localización de aspectos aplicativos y tecnológicos en los contenidos y en los métodos científicos.
- Tendencias y proyectos curriculares de actualidad en el campo de la didáctica.
- Métodos didácticos. Uso del material experimental y de laboratorio.
- Psicología del aprendizaje científico.
- La estructura de la ciencia y la construcción del currículo. Aspectos interdisciplinares entre las diferentes áreas científicas.

Además, conviene reflexionar que una formación inicial, por completa que ésta sea, no supone una necesaria persistencia profesional y unas implicaciones duraderas si no se sucede por unas estructuras de actualización y de reciclaje adecuadas. En los países anglosajones el peso de esta actualización ha recaído en gran medida sobre las propias asociaciones profesionales de los docentes. Normalmente, estas asociaciones disponen de sus particulares revistas y órganos de comunicación, que facilitan la puesta al día en conocimientos y en enfoques pedagógicos. Los *centros de profesores*, existentes en Inglate-

rra, el Japón, y otros países, también han jugado un papel de gran importancia. Es de esperar que en España se llene próximamente la laguna que existe en relación con asociaciones profesionales de docentes y con revistas especializadas en las distintas áreas del currículo escolar.

Este libro, decíamos en el prólogo, pretende abrir algo de camino en la línea de la renovación profesional de los profesores de ciencias. No hemos intentado en ningún momento analizar exhaustivamente ninguno de los temas abordados, y la bibliografía que se cita puede servir de fuente de ampliación para el lector más motivado. El capítulo 13 incluye, entre sus apartados, uno dedicado a las revistas de pedagogía y de didáctica de las ciencias. La suscripción a algunas de ellas, tanto a nivel personal como a nivel de agrupación u órgano profesional, puede resultar del máximo interés. Desgraciadamente, la mayor parte de la bibliografía existente en el campo de la didáctica de las ciencias está redactada en idioma inglés; consideramos, no obstante, que un alto porcentaje de los lectores conocen esta lengua, por lo menos al nivel de lectura comprensiva, y a todos ellos les será, qué duda cabe, de gran utilidad la relación de libros y revistas que hemos elaborado.

XI.5. RESUMEN DEL CAPITULO

Ofrecemos a lo largo de los anteriores apartados una visión simplificada de la génesis de la enseñanza científica en los niveles elementales y medios a lo largo de los últimos tiempos, así como un análisis comparativo de la situación actual en diferentes países. Como conclusión, se intenta dilucidar algunas líneas directrices por las que, posiblemente, va a evolucionar este campo de la educación en los próximos años.

El mayor impulso de la enseñanza de las ciencias ha tenido lugar, en los países occidentales, a partir de los años 50. Han proliferado, desde entonces, proyectos y estudios encaminados a modificar la metodología y a hacerla más acorde con los nuevos tiempos y con la manera de pensar y de razonar de los alumnos. Los proyectos dirigidos a los niveles ele-

mentales han tenido, normalmente, unas características más «educativas» y formativas que los diseñados para los niveles secundarios. Así, la Primera Generación de proyectos desarrollados en los Estados Unidos al finalizar la década de los años 50, destinados a los niveles secundarios altos o preuniversitarios, se han polarizado prioritariamente hacia los alumnos superiores, con vistas a sentar las bases de sus futuras especializaciones profesionales y académicas. Las necesidades sociales y tecnológicas del país, por consiguiente, primaban sobre las necesidades personales de una formación científico-humanística dirigida a todos los alumnos, independientemente de sus capacidades y sus inclinaciones vocacionales.

A partir de 1970, aparentemente, el énfasis se vuelve a dirigir por los derroteros formativos y humanistas (el curso de Física de Harvard ofrece un ejemplo de esta afirmación). Además, parece ser que la educación científica vuelve a cobrar un carácter más globalizante y generalista, perdiendo el carisma de conjunto de enseñanzas difíciles y especializadas. Las ciencias, junto con las humanidades, constituyen, y van a constituir cada vez más, pilares básicos de la formación de toda persona destinada a vivir en sociedades industrializadas y tecnificadas. Y no sólo por las necesidades de las mismas en personal cualificado en las ciencias y las técnicas, sino también para que todos los individuos estén dotados de los resortes culturales que les permitan comprender e interpretar el mundo en que están inmersos.

REFERENCIAS

- (1) LEBOUTET, Lucien. *L'Enseignement de la physique*, Presses Universitaires de France, Paris, 1973.
- (2) Se puede encontrar un excelente resumen, en relación con la problemática de la enseñanza de las ciencias en los departamentos universitarios, realizado desde una perspectiva histórica, en la obra de Ben-David: *The Scientist's Role in Society*, Prentice-Hall, 1971 (traducido al castellano por Fondo de Cultura Económica, Méjico-Madrid).
- (3) VIÑAO, A. «Educación secundaria y transformaciones socioeconómicas», en *Revista de Educación* (publicación de la Secretaría General Técnica del Ministerio de Educación y Ciencia), Núm. 238, mayo-junio 1975, pp. 5-14.
- (4) SMITH, H. A. «Historical Background of Elementary Science», en *Journal of Research in Science Teaching*, Vol. 1, Núm. 3, pp. 200-205, 1963.
- (5) LENIN: *Sobre la enseñanza y la educación*, Varsovia, 1962 (citado por B. Suchodolski, en *Fundamentos de pedagogía socialista*, Ed. Laia, Barcelona, 1974).
- (6) SEABORG, G. T. «New Trends in Chemical Education», en *Chemical Engineering News*, octubre 1960, pp. 38-98.
- (7) HURD, Paul D. *New Directions in Teaching Secondary School Science*, Rand McNally, Chicago, 1969 (y reimpresso en diferentes ocasiones a partir de dicha fecha).
- (8) DANTON REPORT: *Enquiry into the Flow of Candidates in Science and Technology into Higher Education*, Council for Scientific Policy, Cmnd. 3541, HMSO, Londres, 1968.
- (9) ADAMS, E. (ed.) *In Service Education and Teachers' Centers*, Pergamon Press, Oxford, 1975. Cf. también: ESCUDERO, Tomás; FERNANDEZ URÍA, E. «El perfeccionamiento del profesorado en ejercicio», en *Revista de Educación*, Núm. 241, noviembre-diciembre 1975, pp. 78-91.
- (10) *Seventh Report of the International Clearinghouse on Science and Mathematics Curricula Developments*, Universidad de Maryland, 1970.
- (11) Cf., por ejemplo, el capítulo dedicado a la URSS en el libro: *New Trends in Physics Teaching*, Vol. I (1965-1966), editado por la UNESCO, Paris, 1968, pp. 257-271. Los principales artículos recogidos en dicho capítulo son: «The Situation in the USSR», «Pre-University Physics in the USSR», y «Olympics Attract Youth to Science in the USSR» (este último por M. A. Lavrentiev, vicepresidente de la Academia de Ciencias de la URSS).
- (12) COMBER, L. C.; KEEVES, J. P. *Science Education in Nineteen Countries: An Empirical Study*, John Wiley and Sons, Nueva York, 1973. Se puede consultar también nuestro resumen crítico de dicho trabajo: «El

proyecto de evaluación internacional de las ciencias», publicado en *La Educación Hoy*, Vol. 3, Núm. 4, pp. 149-156, Barcelona, 1975.

(13) HUSEN, T. *International Study of Achievements in Mathematics: A Comparison of Twelve Countries* (2 vols.), John Wiley and Sons, Nueva York, 1967.

(14) SCHWARTZ, Bertrand. «¿Adónde va la educación?», Jefatura Nacional del SEM, Departamento de Estudios, Boletín Núm. 2, marzo 1975.

(15) Cf., por ejemplo, el libro de Edmund KING: *Las necesidades de la educación en el año 2000 y la función del maestro*, Ed. El Ateneo, Buenos Aires, 1970.

(16) KUHN, D. J. «The Science Education of the Elementary Teacher», en *School Science and Mathematics*, Vol. LXXIII, Núm. 6, 1973.

(17) A.A.A.S. *Guidelines and Standards for the Education of Secondary School Teachers of Science and Mathematics*, Washington, 1971.

(18) OST, D. H. «Changing Curriculum Patterns in Science, Mathematics, and Social Studies», en *School Science and Mathematics*, Vol. LXXV, Núm. 1, 1975.

BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTARIA

- BARNARD, D. (ed.) *Rethinking Science Education*, 59th Yearbook of the NSSE, Part I, Chicago, National Society for the Study of Education, 1960. Se incluyen varios trabajos en relación con el currículo científico, que reflejan el interés por renovar la enseñanza de las ciencias suscitado en los Estados Unidos al finalizar la década de los años 50.
- CHISMAN, M.D.G. «Tendances actuelles de l'enseignement de la chimie», en *Chimie Scolaire*, pp. 11-16, OCDE, París, 1964. En este volumen se recogen varias ponencias presentadas en la sesión de trabajo de la OCDE celebrada en Londres, 1963.
- DARBON, C.; BROWN, S.; CLARKE, A. *International Education in Physics*, Nueva York, 1960 (análisis comparativo internacional de la enseñanza de la Física).
- HURD, Paul D. *Biological Education in American Secondary Schools 1890-1960*, American Institute of Biological Sciences, 1961.
- HURD, Paul D. *New Curriculum Perspective for Junior High School Science*, Wadsworth Pub. Co., Belmont, California, 1970.
- KLOPFER, Leopold E. «Science Education in 1991», en *The School Review*, Núm. 77, pp. 199-217, 1969.
- KROCKOVER, G. H. «Science Education for the Future», en *School Science and Mathematics*, Vol. LXXV, Núm. 7, pp. 639-644, noviembre 1975.
- En el libro de Leboutet (cf. la referencia 1) se incluyen algunos capítulos interesantes, en los que se lleva a cabo un análisis comparativo de la enseñanza de la física (especialmente, los 1.º, 2.º, 5.º, 6.º y 8.º).

- OCDE. *New Thinking in School Biology*, Paris, 1963 (conjunto de ponencias presentadas en la Semana de la OCDE sobre la reforma de la enseñanza de la Biología, celebrada en La Tour de Peilz, Suiza, 1962).
- RUTHERFORD, F. J. «Preparing Teachers for Curriculum Reform», en *Science Education*, 55(4), pp. 555-568, 1971.
- STRASSENBURG, A. A. «The Evolution of Physics Teaching», en el *American Journal of Physics*, Vol. 40, pp. 1730-1736, 1972. Aunque se centra este estudio en los niveles universitarios, las ideas recogidas son de interés general.
- UNESCO: *New Trends in Chemistry Teaching*, Vols. I y II, Paris (1964-1965 y 1969, respectivamente).
- YUSIKOVICH, V. F. (ed.) *Methods of Teaching Physics in Soviet Secondary Schools*, Daniel Davey and Co., Nueva York, 1966.

XII. ANALISIS DE ALGUNOS PROYECTOS DIDACTICOS

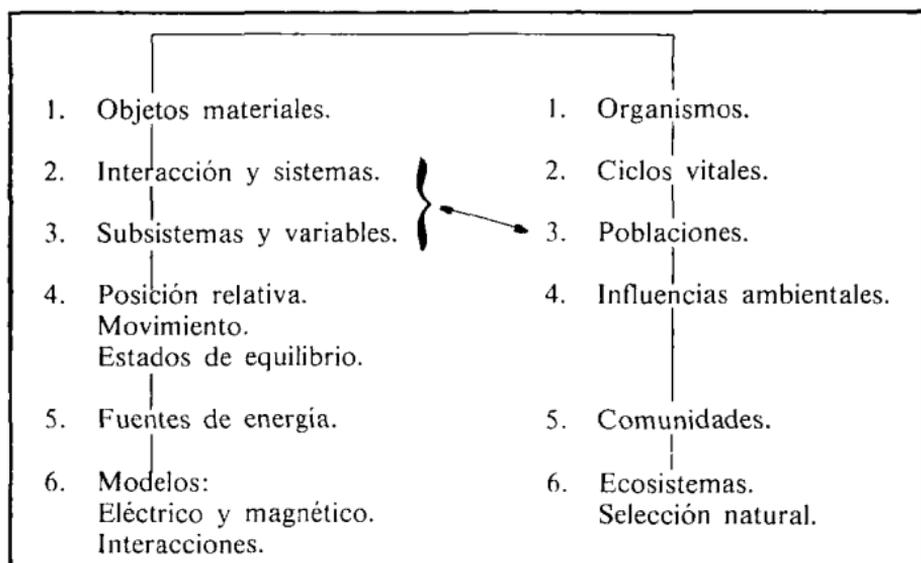
XII.1. NIVELES ELEMENTALES Y SECUNDARIOS BAJOS

1.1. *The Science Curriculum Improvement Study (SCIS)*

Este proyecto se ha desarrollado en la Universidad de Berkeley, bajo la competente dirección de Robert Karplus, y va destinado a los grados K-6, es decir, desde el kindergarten hasta los 12 años de edad (1). En su elaboración se han seguido estrechamente las investigaciones que, en el campo de la psicología del aprendizaje y del desarrollo, han realizado Piaget, Bruner y Hunt, de tal manera que se ha procurado acomodar la estructura del curso a los procesos de aprendizaje y al lenguaje infantiles.

Los trabajos comenzaron hacia 1963, y a partir de 1966 se ha llevado a cabo un estudio longitudinal que ha seguido la pista a los niños de los grupos experimentales a lo largo de varios años. En 1968 se comenzó a publicar parte del material elaborado (2). En este proyecto se ha investigado en torno a los conceptos y esquemas conceptuales básicos más idóneos para facilitar la comprensión y el desarrollo intelectual de los escolares, los cuales aparecen recogidos en el esquema.

En total, por consiguiente, hay 12 Unidades Didácticas o Bloques, la mitad de ellos correspondiendo al mundo físico y la otra mitad al biológico. El material editado para cada uno de estos Bloques incluye: cajas de material experimental, guías didácticas para el profesor, manuales o folletos para el alumno y material fungible. Existe una «Newsletter» (la *SCIS Newsletter*) o boletín periódico, cuya finalidad es la de mantener



contacto con el profesorado que hace uso del proyecto SCIS e informarle de las últimas novedades en relación con el mismo.

Los enfoques didácticos de este proyecto giran en torno a los procesos básicos que Karplus denomina de *invención* y de *descubrimiento* (3), los cuales se analizan brevemente en el capítulo 6.º El primero de estos procesos se refiere a la construcción de conceptos y modelos interpretativos por parte de los niños, sobre la base de una gran variedad de observaciones y experiencias. Puesto que son los propios alumnos los que *construyen* sus interpretaciones, con la ayuda del profesor, se favorece de esta manera una estrecha coordinación entre el aprendizaje y el desarrollo infantiles. Los conceptos elaborados en la fase de «invención» son reafirmados en las sesiones de «descubrimiento», a lo largo de las cuales se localizan sus implicaciones en situaciones nuevas, diferentes a aquéllas en las cuales se habían adquirido.

El curso es secuncial o longitudinal, en el sentido de que los conceptos de orden superior se apoyan sobre los conceptos asimilados previamente (respecto al proceso de *asimilación*, revisar el capítulo 5.º). Se han planificado, en relación con este aspecto, tres niveles de abstracción:

- En el primer nivel se incluyen los conceptos de materia, seres vivos, conservación de la materia, sistemas, etc.
- En el segundo nivel, los de interacción (incluyéndose aquí las relaciones causales y las asociaciones) y relatividad (relaciones geométricas).
- Las abstracciones de tercer nivel incluyen los conceptos de energía, transferencias energéticas en las interacciones, equilibrio, comportamiento, reproducción y organización de los seres vivos.

El curso, de acuerdo con la organización presentada en los anteriores párrafos, sigue el enfoque integrado o unificado, de tal manera que los esquemas conceptuales previstos no diferencian entre las distintas ramas científicas (véase el capítulo 9.º).

1.2. *The Elementary Science Study (ESS)*

Mientras que el proyecto anterior es secuencial o longitudinal, el ESS está dotado de una gran flexibilidad, y puede servir como complemento para cualquier programa de tipo tradicional. Ha sido desarrollado este curso por el Educational Development Center (EDC), y a partir de 1960 se comenzaron a elaborar los materiales didácticos correspondientes (para alumnos en los grados K-8, es decir, desde el Kindergarten a los catorce años de edad). El material se ha publicado a partir de 1970 por la Webster Division, de la Mc Graw Hill (4).

El enfoque adoptado es muy abierto y experimental. En lugar de articularse el curso en torno a un conjunto de conceptos básicos (caso del SCIS), los niños adquieren información a partir de un contacto, no excesivamente sistematizado, con el mundo real, y a partir de la observación y la experimentación. La filosofía que ha inspirado este enfoque se puede resumir en las siguientes palabras:

«Es aparente que los niños son científicos por disposición: preguntan cuestiones y usan sus sentidos, así como sus facultades de razonamiento, para explorar su entorno físico; reciben una gran satisfacción al descu-

brir las causas de ciertos hechos; les gusta resolver problemas y enigmas; se sienten atraídos por materiales nuevos o por nuevos modos de utilización del material conocido. Es esta curiosidad natural de los niños, así como su liberación de los prejuicios sobre la dificultad de aprender, lo que el ESS trata de cultivar y de dirigir hacia canales más profundos. Es nuestra intención enriquecer la comprensión de *todos* los niños, más bien que crear prodigios científicos o dirigir a ciertos niños hacia carreras y derroteros relacionados con la ciencia. Queremos que los niños se sientan familiarizados con la tecnología moderna, y no se dejen intimidar por ella.»

El curso se articula en torno a un conjunto de *unidades didácticas*, de duración variable, y con objetivos y estructuras también muy variables. Así, unas requieren de equipos especialmente diseñados, mientras que otras se pueden desarrollar con objetos de la vida corriente. Casi todos los sentidos de los niños se encuentran inmersos en el proceso del aprendizaje (la vista, el tacto, el oído...), y este proceso puede tener lugar en los sitios más variados o en las más diversas circunstancias (en la clase, en el patio de juegos, en el campo, con motivo de una excursión, etc.).

Las actividades previstas en este proyecto son también de gran diversidad: cultivo de plantas, experimentación con equipos de electricidad, construcción de instrumentos, colección de plantas, rocas y animales, realización de razonamientos inductivo-deductivos, etc. El título de algunas de las unidades que integran el ESS pueden ponernos de manifiesto la flexibilidad, la variedad y la riqueza del proyecto:

«Actividad de los animales», «Balones y gases», «Baterías y lámparas», «Comportamiento de la lombriz de tierra», «Calentamiento y enfriamiento», «Física de la cocina», «Guisantes y partículas», «Mosquitos», «¿Dónde está la Luna?», «Surgiendo de las semillas», «Péndulos», «Bloques lógicos», «Luz y sombras», «Estructuras», «Microjardinería», «Pequeñas cosas», «Polvos misteriosos», etc. (hasta un total de más

de cincuenta unidades). La estructura de la unidad «Microjardinería», por poner un ejemplo, es la siguiente (5):

«Se trata de un estudio de los mohos. En primer lugar, los alumnos descubren cómo son. Se dejan crecer en varias sustancias, y se analizan sus características y sus esquemas de crecimiento por medio de una lupa o un microscopio. Estas actividades son seguidas por experimentos que se centran en las influencias que sobre el crecimiento de los mohos ejercen ciertos factores ambientales (luz, humedad, temperatura, huésped). A partir de este punto, los alumnos investigan la cuestión: ¿de dónde vienen los mohos?, la cual conduce al estudio de técnicas de esterilización. La acción antibiótica del *Penicillium* se explora seguidamente, y la unidad termina con una competición entre alumnos, en la cual cada uno de ellos intenta hacer crecer una muestra de moho con mayor rapidez que los demás.»

Existe, de forma semejante a lo que sucede con el SCIS, una Newsletter o boletín de edición periódica, que se distribuye gratuitamente entre el profesorado interesado por este método, o que lo utiliza con regularidad.

1.3. *Science-A Process Approach*

En el capítulo 9.º hemos aludido ya al carácter integrado y longitudinal de este programa, desarrollado por la AAAS (6). Es integrado, puesto que se incluyen en él simultáneamente aspectos tomados de diferentes áreas (tanto científicas como matemáticas), sin establecer tabiques o barreras separatorias. Es longitudinal, por otra parte, dado que está constituido por una secuencia lineal de unidades didácticas, cada una de ellas apoyándose en las anteriores y añadiendo aspectos nuevos.

Se hace énfasis sobre los *procesos científicos*, más que sobre los conceptos o esquemas conceptuales (caso del SCIS), los cuales se expresan en forma operacional y evaluable. Es decir, se especifican claramente en el proyecto los objetivos de conducta u operaciones mentales que han de conseguirse en los

alumnos antes de proceder a las unidades siguientes. La estructura didáctica se apoya sobre las ideas de Gagné en relación con la psicología del aprendizaje, las cuales han sido anotadas en los capítulos 6.º y 9.º La estructura de cada unidad o ejercicio didáctico es la siguiente:

1. Planteamiento de objetivos (en forma de verbos de conducta).
2. Análisis de la unidad y sugerencias metodológicas.
3. Vocabulario nuevo que se va a desarrollar.
4. Material didáctico necesario.
5. Problema inicial a resolver por los alumnos (introducción motivadora)
6. Procedimiento didáctico.
7. Vías de evaluación de los objetivos de conducta planteados al principio de la unidad.

1.4. *MINNEMAST (Minnesota Mathematics and Science Teaching Project)*

Este proyecto realiza una integración didáctica de las enseñanzas científica y matemática en los alumnos de los grados K-6 (desde preescolar hasta los doce años). Dado que en el capítulo 4.º aludimos brevemente a las características del programa, no nos detenemos aquí sobre las mismas.

1.5. *Nuffield Foundation: Ciencia Combinada*

Este curso ha sido desarrollado en Inglaterra, en 1965-1969, como parte del proyecto Nuffield para la enseñanza de las ciencias (ver el capítulo anterior). Ha sido traducido al castellano por Ed. Reverté (7), y consta del siguiente material:

- Tres guías para el profesor (la tercera, de tipo general, destinada a la autoformación y el perfeccionamiento de los docentes).
- Diez cuadernos de actividades para los alumnos.
- Un cuaderno de referencias, para las actividades del curso.

El programa va dirigido a alumnos de once-trece años de edad (los dos primeros años del Ciclo Ordinario, en los estudios secundarios ingleses), y se han utilizado en su elaboración parte de los recursos desarrollados para los cursos de Física, Química y Biología del nivel «O» (Nivel o Ciclo Ordinario). Se pretende con este proyecto integrar las diferentes áreas y conceptos científicos, de forma que el alumno adquiera un aprendizaje global y no tabicado por barreras interdisciplinarias. El curso, lo mismo que los demás desarrollados por el Programa Nuffield, es fuertemente experimental e inductivo, y se pretende que el alumno relacione las observaciones y experiencias previstas con los modelos e interpretaciones propugnados por la ciencia. Es el propio alumno, con la ayuda del profesor, quien construye hipótesis interpretativas, adquiriendo de esta manera una visión del mundo natural y tecnológico acorde con su propia estructura mental.

En la introducción al curso, se expresan de la siguiente manera las características y motivaciones esenciales del mismo (8):

«Ciencia Combinada es un método para introducir a los alumnos en el estudio de los fenómenos naturales, de forma que los propios niños puedan interpretar estos fenómenos. Es un intento de volver a captar la unidad de perspectiva y la consistencia metódica propia del conjunto de la ciencia, que nos permite hacer afirmaciones razonadas sobre el mundo en que vivimos... Puesto que la variedad de temas es tan grande, y ha de enseñarlos un solo profesor, tanto los alumnos como él se considerarán posiblemente, a lo largo de este proyecto en el cual aprenden juntos, más como compañeros que como maestro y discípulos.»

El curso se divide en 10 secciones, cada una de ellas desglosada en varias subsecciones. Estas secciones tienen las siguientes denominaciones:

1. El mundo que nos rodea.
2. Investigación de regularidades.

3. Cómo comienzan las cosas vivas.
4. Aire.
5. Electricidad.
6. Agua.
7. Las cosas pequeñas.
8. La Tierra.
9. Insectos.
10. Energía.

A nivel de ejemplo, presentamos seguidamente las subsecciones o unidades didácticas correspondientes a la sección 6.^a («Agua»).

- 6.1. Agua de diferente origen.
- 6.2. Investigación del agua.
- 6.3. Animales y plantas en el agua y en la tierra.
- 6.4. ¿Qué es el agua?
- 6.5. ¿Puede pasar la electricidad a través del agua?

A partir de este desglose, es posible apreciar el carácter integrado o unificado del curso. En efecto, cada tema es como un «centro de interés», en torno al cual se desarrolla un conjunto de conocimientos y procesos científicos (tanto de la Física como de la Química o de la Biología) de gran valor formativo. Se intenta, en esta forma, lograr una visión armónica del mundo natural y técnico.

XII.2. NIVELES SECUNDARIOS

2.1. *Schools Council Integrated Science Project*

Va dirigido a los estudiantes ingleses del nivel «O» (nivel Ordinario, once-dieciséis años de edad), y se pretende en este proyecto presentar una imagen global de la ciencia, y no un conjunto de disciplinas separadas. Las tres secciones en que se divide el curso son (9):

- «Bloques de construcción» (en la cual se incluyen tópicos o temas de diversa variedad: comunidades y poblaciones, estructura atómica de la materia...).
- «Energía».
- «Interacciones».

El curso es integrado o unificado, y se hace uso de ejemplos de orden biológico para ilustrar principios de la Física y de la Química, o bien ejemplos del mundo físico para ilustrar fenómenos de tipo biológico. Los tabiques interdisciplinarios se han destruido en gran medida, intentándose lograr de esta manera un aprendizaje global y comprensivo. Se trata de uno de los proyectos didácticos de más interés, de entre los desarrollados hasta la fecha, y abre un camino muy interesante de cara a un futuro distinto en la enseñanza de las ciencias. También se incluyen en el curso aspectos humanísticos y tecnológicos, y en este sentido se acerca el mismo bastante a la imagen futurista que hemos presentado en el capítulo anterior en relación con la didáctica de las ciencias.

2.2. *PSSC (Curso de Física del Physical Science Study Committee)*

El PSSC ha sido el primero de los proyectos desarrollados en los Estados Unidos, a raíz de la reforma pedagógica iniciada en la segunda mitad de la década de los años cincuenta en el campo de la enseñanza científica (ver el capítulo anterior). Las primeras reuniones de trabajo en relación con este curso se celebraron en 1956, en el M. I. T. (Massachusetts Institute of Technology), bajo la dirección de Jerrold R. Zacharias. Se pretendía cambiar la situación en que se hallaban los libros de texto existentes para la enseñanza de la Física, que se criticó en los siguientes aspectos (9 bis):

- Libros desfasados aproximadamente medio siglo.
- Libros sobrecargados con detalles y aplicaciones, lo que dificultaba la asimilación conceptual en un único curso escolar.

- Ausencia de unidad o estructura conceptual clara, estando integrados por un conjunto yuxtapuesto de temas y tópicos.

El Comité constituido en 1957 comenzó a trabajar en la elaboración de un curso diferente, que conllevara un cambio positivo y que contribuyera a solventar los defectos en que incurrieran los cursos tradicionales. La Segunda Edición de este curso fue publicada en 1965 (10), y ha sido el objeto de numerosas traducciones, entre otras al castellano. Consta esta edición de los siguientes materiales:

- Libros de contenidos, para el alumno (2 volúmenes).
- Guía del profesor (4 volúmenes).
- Guía de laboratorio.

Además, se han diseñado equipos y materiales de laboratorio, económicos y efectivos desde el punto de vista del aprendizaje. A éstos hay que añadir un conjunto de películas didácticas del más alto interés (ver el capítulo 7.º).

La *Science Study Series* es una colección de libros de lectura en torno a determinados temas científicos monográficos, y se utiliza abundantemente en el programa; de esta manera, los alumnos pueden profundizar en los tópicos que les interesen más, o que llamen con más fuerza su atención. La mayor parte de estos libritos están traducidos al castellano por la Editorial Sudamericana, de Buenos Aires.

Los objetivos educacionales del curso PSSC, de acuerdo con Hurd, pueden resumirse en las siguientes líneas:

- Presentar a la Física como un área lógicamente unificada, y en constante cambio y evolución.
- Demostrar la interconexión entre la teoría y los experimentos.
- Hacer que los estudiantes participen activamente en el aprendizaje, interrogando a la Naturaleza ellos mismos.
- Comprender el lugar de la Ciencia en la Sociedad.
- Apreciar las limitaciones del conocimiento acerca del

mundo natural, siendo la Física un conjunto de aproximaciones hacia la verdad.

- Reconocer que es actividad fundamental de la ciencia la construcción de modelos y teorías.

El curso se estructura en torno a dos esquemas conceptuales: la Dinámica de las partículas bajo la influencia de fuerza (incluyendo las leyes de conservación del momento y de la energía) y el Principio de Superposición, en los procesos de propagación ondulatoria. La estructura conceptual, por consiguiente, es bien clara y organizada. Finalmente, conviene añadir que, aunque el curso fue originalmente diseñado con vistas a atraer a los estudiantes más brillantes hacia las profesiones científicas y tecnológicas (se trata de un programa dirigido a los mejores escolares, y no al escolar tipo medio), la declaración de principios incluida en el prefacio de la primera edición (1960) especifica lo siguiente: «El curso atrae tanto a los estudiantes inclinados hacia las humanidades como a aquellos interesados por las ciencias.»

2.3. CBA (*Chemical Bond Approach*)

Se comenzó a trabajar en este proyecto en 1957, en Portland, Oregon, bajo los auspicios de la American Chemical Society, y la versión definitiva se publicó en 1962 (11), tras varias ediciones experimentales. La traducción al castellano consta de los siguientes volúmenes:

- Sistemas Químicos (2 volúmenes).
- Guía del profesor.
- Investigación de sistemas químicos. Guía de laboratorio.
- Investigación de sistemas químicos. Guía del profesor.

El curso es esencialmente conceptual, y va dirigido a escolares de dieciséis-dieciséis años de edad (grado 11.º, en los Estados Unidos). Se pretende en él que los alumnos adquieran una visión coherente de las *estructuras*, los *enlaces químicos* y los *mecanismos de reacción*. Los objetivos formales básicos son los siguientes:

- Desarrollo del pensamiento crítico y analítico.
- Comprensión de los métodos científicos (naturaleza de los modelos y de las teorías, carácter de los métodos experimentales, etc.)
- Comprensión del papel de la Química en el mundo actual.
- Construcción de modelos interpretativos, mediante el análisis sistemático de los trabajos experimentales realizados en el laboratorio escolar.

2.4. *CHEM (Chemistry-An Experimental Science)*

El comité de elaboración de este programa ha estado dirigido por Glen T. Seaborg (premio Nobel de Química) y por J. A. Campbell, a partir de los trabajos iniciales de 1959. La versión final del curso, tras varias estructuraciones experimentales, se publicó en San Francisco, en 1963 (12), y ha sido traducida al castellano por Ed. Reverté. Consta este proyecto de los siguientes libros:

- Química: una ciencia experimental.
- Manual de laboratorio.
- Guía del profesor (2 volúmenes).

Con posterioridad a esta primera edición, se han desarrollado otras cuatro versiones, publicadas entre 1968-1969 (13). El curso CHEM pone el acento sobre el carácter experimental de la Química, mientras que el CBA, antes analizado, es de naturaleza más fuertemente deductiva o teórica. Los objetivos fundamentales del programa son los siguientes:

- Sentar las bases de una futura preparación universitaria en la química, o en ciencias afines.
- Presentar una imagen armónica y coherente del edificio conceptual en la Química.

En estos objetivos se recogen las siguientes palabras, tomadas del prólogo al libro de texto para los alumnos:

«Una clara y válida descripción de las etapas, según las cuales proceden los científicos, ha sido presentada

cuidadosamente, y se emplea repetidamente. Las observaciones y mediciones conducen al desarrollo de principios clasificadores, los cuales, a su vez, son empleados para relacionar entre sí diversos fenómenos. Se pone gran énfasis en el trabajo de laboratorio, de modo que los principios de la Química se deduzcan directamente de los experimentos del estudiante. Ello no sólo ofrece una visión correcta, no dogmática, de los orígenes de los principios químicos, sino que ofrece también la máxima oportunidad de hacer descubrimientos, que es la parte más excitante de la actividad científica».

2. 5. *BSCS (Biological Sciences Curriculum Study)*

El apoyo y la financiación iniciales de este proyecto estuvieron a cargo del American Institute of Biological Sciences, y de la National Science Foundation. La dirección ha corrido a cargo de Bentley Glass y de A. B. Grobman. Desde un principio se puso de evidencia la necesidad de desarrollar *tres cursos* diferentes, todos ellos dirigidos a estudiantes del grado 10.^o (15-16 años de edad), dado que el estudio de la Biología puede hacerse desde distintos puntos de vista. Las primeras ediciones de estos cursos se publicaron en 1968 (14), y han sido traducidas o adaptadas en la mayoría de los países desarrollados (la versión española se ha realizado en Méjico).

Los tres cursos o versiones del BSCS se editaron originalmente con distinta coloración, y de ahí las denominaciones populares de las mismas en los Estados Unidos:

- Versión Amarilla o enfoque clásico (nivel celular).
- Versión Verde o enfoque ecológico-comunitario.
- Versión Azul o enfoque fisiológico-bioquímico (nivel molecular).

Los objetivos de contenido generales que se persiguen con estos tres enfoques son (5):

1. Cambio de los seres vivos a través del tiempo: evolución.

2. Diversidad de tipos y unidad de estructura en los seres vivos.
3. Continuidad genética de la vida.
4. La complementariedad del organismo y su entorno.
5. Las raíces biológicas del comportamiento.
6. La complementariedad de la estructura y la función.
7. Regulación y homeostasis.
8. La ciencia como indagación e investigación.
9. La historia de las concepciones biológicas.

También se pretende que el alumno llegue a apreciar la base biológica de muchos de los procedimientos y problemas actuales en el campo de la medicina, la salud pública, la agricultura y el medio ambiente. En general, las tres versiones se centran en los aspectos molecular y celular, en un extremo, y en el concepto de población y comunidad, en el otro, haciendo escaso énfasis en aspectos estructurales de nivel intermedio (órganos, tejidos, descriptiva de especies biológicas, etc.).

2.6. *IPS (Introductory Physical Science)*

Este proyecto surgió en el año 1963, y en el año 1967 se ha publicado la edición comercial (15). La dirección ha estado a cargo de Uri Haber-Schaim, de Educational Services Incorporated.

La elaboración de este curso se llevó a cabo cuando los cursos de Física, Química y Biología, que hemos reseñado anteriormente, estaban ya concluidos o casi concluidos. Se diferencia este proyecto de los anteriores en que va más directamente enfocado hacia los alumnos que no piensan dedicarse profesionalmente o académicamente a actividades de tipo científico o tecnológico. En cuanto a sus contenidos, de acuerdo con Hurd, «el curso suministra una visión unificada del modelo atómico de la materia en todas las variaciones y contextos que supone dicho modelo». La secuencia de temas incluidos en el programa (que engloba tanto a la Física como a la Química, y de ahí la denominación de «Introducción a las Ciencias Físicas»), es la siguiente:

- Cantidad de materia: masa.
- Propiedades características.
- Solubilidad y disolventes.
- La separación de sustancias.
- Compuestos y elementos.
- Radiactividad.
- El modelo atómico de la materia.
- Tamaño y masa de los átomos y las moléculas.
- Movimiento molecular.
- Calor.

El curso gira de forma esencial en torno a las actividades de laboratorio programadas, las cuales ocupan la mayor parte del tiempo total destinado a cubrir el programa.

2.7. *Cursos de Física Nuffield*

Dos son los cursos desarrollados hasta la fecha: el Curso Básico u Ordinario (16) y el Curso Avanzado (17). El primero de ellos va destinado a alumnos de 11-16 años de edad, y el segundo a los de 16-19 años (nivel preuniversitario o Nivel «A»).

Las características didácticas esenciales de la Física Básica han sido analizadas en la Guía del Profesor I (pp. 1-22). Se trata de un curso que, en principio, no ha sido diseñado con finalidades de especialización, sino para sentar las bases de una *comprensión* y un *razonamiento* de tipo científico, incluso en alumnos que no van a seguir estudios posteriores en la Física o la Tecnología. Se trata, según palabras incluidas en la Información Básica, de un curso de «física para todos», en el cual «la física se enseña como un entramado de conocimientos, donde algo aprendido en una parte es útil en alguna otra, y lo descubierto más tarde ayuda a aclarar cuestiones utilizadas anteriormente». Se pretende, en esta línea, que «los alumnos piensen y descubran por sí mismos, y al hacerlo aprendan Física», expresándose la duda de que «se gane en comprensión mediante el aprendizaje formal de definiciones o la resolución de ejemplos cuyo fin se limita a sustituir valores numéricos en una fórmula».

En relación con los puntos anteriores, el curso es más cualitativo que cuantitativo, apoyándose sobre una gran variedad de *experiencias y cuestiones*, a las cuales los alumnos han de dar su propia respuesta. Es en las fases últimas del curso (años 4.º y 5.º) cuando se introducen los modelos y las teorías científicas con un cierto grado de rigor. En los primeros años los alumnos se familiarizan con los fenómenos del mundo físico de forma cualitativa, sin excesivos formalismos. En los cursos 3.º y 4.º del programa, y sobre todo en el 5.º, las experiencias son más organizadas y sistematizadas, con vistas a una comprensión más analítica y profunda.

Las evaluaciones discurren también por las líneas antes delimitadas, procurándose que pongan de manifiesto la *comprensión* y el *razonamiento*, más que la memorización y el aprendizaje formalista. El saber es comunicado de forma dinámica y abierta, procurándose poner de evidencia las limitaciones del mismo, y su carácter experimental e interpretativo (saber no dogmático). Los contenidos aproximados que se incluyen en cada uno de los cinco años del programa son los siguientes:

Año I: Materiales e instrumentos, moléculas, energía.

Año II: Fuerzas, electrocinética, energía, calor y temperatura.

Año III: Ondas, óptica, movimiento y fuerzas, electromagnetismo, electrostática.

Año IV: Leyes de Newton, teoría cinética, conservación de la energía, corrientes eléctricas, diferencia de potencial.

Año V: Movimiento circular, corrientes de electrones, astronomía, ondas, radiactividad, física atómica.

El curso de Física Avanzada se dirige hacia una intensa especialización de los escolares que hayan escogido esta asignatura como optativa en el Nivel A. Como se dice en uno de los libros del proyecto, «el curso pretende servir de ayuda para convertir al alumno casi en un físico; la mayoría de los lectores no serán físicos, pero utilizarán la Física o continuarán aprendiéndola en una amplia variedad de empleos o estudios posteriores».

Entre los objetivos, no solamente destaca la comprensión, sino que se pretende también introducir al alumno a los métodos científicos de trabajo. En este sentido, se incluye una gran variedad de experiencias de laboratorio, así como de referencias bibliográficas de artículos de investigación (históricos, en gran parte), que tienen como finalidad la ampliación de estudios y el recurso por parte del alumno a las fuentes originales científicas. Dado que interesa transmitir una imagen no dogmática de la Física, los libros del alumno no son libros de texto propiamente dichos, sino recopilaciones de cuestiones (tanto numéricas como cualitativas), a las cuales se debe encontrar una respuesta apropiada. El curso está cuajado de aplicaciones de orden tecnológico, así como de aspectos y temas de vanguardia en el campo de la investigación, lo que lo diferencia de otros cursos de nivel secundario, o incluso universitario. Las diez unidades que componen la estructura de proyecto son:

- Materiales y estructuras.
- Electricidad, electrones y niveles energéticos.
- Campo y potencial.
- Ondas y oscilaciones.
- Estructura atómica.
- Electrónica y circuitos reactivos.
- Campos magnéticos.
- Ondas electromagnéticas.
- Cambio y azar.
- Ondas, partículas y átomos.

La mayor parte del material publicado puede resultar de gran valor para la actualización pedagógica y en contenidos del profesor de Física en los niveles secundarios.

2.8. *Cursos de Química Nuffield*

El curso ordinario o básico de Química va destinado, de igual manera que la Física Básica, a estudiantes de 11-16 años. Consta de los siguientes elementos: Introducción y Guía, Manual del Profesor, Curso Modelo (fases I y II), Curso Mo-

delo (fase III), Experimentos, Libro de datos, Investigaciones de laboratorio (3 fases) y monografías complementarias y de lectura.

Este curso es también fuertemente empírico e inductivo, procurándose que sean *los propios alumnos* (con ayuda del profesor) los que construyan teorías e hipótesis interpretativas de las observaciones realizadas en el laboratorio. Ni que decir tiene que, dado el carácter experimental del curso, supone una adecuada disponibilidad en material, instalaciones y horas de dedicación docente. La filosofía del proyecto puede resumirse en las siguientes observaciones de Armstrong, reseñadas en el Manual para Profesores (pág. 3):

«El hábito de preguntar —y una cierta habilidad para obtener respuestas a tales preguntas mediante experimentos— es tal, que necesita ser cultivado con máximo cuidado si se ha de desarrollar hasta alcanzar cierta perfección.»

«El niño aprende experimentando —a la mayoría de los niños les gusta dichas actividades de forma natural—; nuestro sistema educativo es el fundamental responsable de la decadencia de dicho gusto a medida que pasan los años» (Armstrong, 1891).

Ya desde los primeros capítulos o etapas del curso, el alumno se encuentra inmerso en un ambiente semejante al del químico práctico. Así, se llega al concepto de elemento, compuesto y mezcla, mediante la realización de cromatografías y separaciones analíticas elementales (¡A los 11 años de edad!). La visualización y la observación constante ayuda a materializar los conceptos, y a adquirir una imagen coherente y razonable de los modelos químicos (método inductivo, ver el capítulo 6.^o).

Se ha procurado que haya una cierta correlación entre este programa y el curso básico de Física. Durante los tres primeros años, los dos cursos discurren de forma bastante independiente, de tal manera que se estudia el problema de la energía térmica en el curso de Química y de la energía mecánica en el

de Física. En el año IV se llega a una síntesis de ambos programas, en relación con el concepto de energía, y se comienza a medir en julios los dos tipos fundamentales de la misma (la mecánica y la térmica), como manifestaciones que son de un mismo concepto fundamental.

Los contenidos del curso básico u ordinario de Química son los siguientes:

Fase I: años 1 y 2 (exploración de los materiales). Sustancias puras, la combustión, los elementos, electrólisis, etc.

Fase II: años 3 y 4 (ideas acerca de los átomos y las partículas). Los átomos, la sal común, sistema periódico, estados de agregación, velocidad de reacción, ácidos, etc.

Fase III: año 5 (curso optativo). Se incluyen diferentes temas o tópicos, como son: el agua, los metales y las aleaciones, la industria química, temas históricos, moléculas gigantes, etcétera.

El curso avanzado de Química (19) se dirige a estudiantes del Nivel A (16-19 años de edad), y se ha diseñado con finalidades de especialización para los alumnos que piensan dirigir sus pasos por derroteros de tipo científico o tecnológico relacionados con la Química. Consta este proyecto de tres guías para el profesor, dos libros para el alumno y varios otros manuales y libros sobre temas monográficos (por ejemplo, Bioquímica, Ingeniería Química, Intercambio Iónico, Metalurgia, Etanol y otros Alcoholes, etc.). Dado el carácter eminentemente experimental y conceptual del curso, se han editado también un libro de datos y una serie de hojas de experimentos, de utilidad para el trabajo de laboratorio. Finalmente, existen una serie de películas didácticas cortas, siguiendo así la tónica trazada por los demás proyectos norteamericanos e ingleses.

El programa de este curso avanzado es el siguiente:

- Cantidad de sustancia.
- Periodicidad.
- Estructura atómica.

- Halógenos.
- Ácidos-bases.
- Enlaces.
- Fuerzas intermoleculares.
- Equilibrios.
- Química del carbono.
- Velocidad de reacción.
- Etc.

2.9. *Cursos de biología Nuffield*

El curso básico (ordinario) de Biología ha sido desarrollado en 1968 (20), y sus características didácticas son muy similares a las de los cursos equivalentes de Física y Química. Está también concebido para ser estudiado a lo largo de cinco años, de los cuales los dos primeros son de carácter introductorio y los tres últimos más analítico y cuantitativo. El material de laboratorio es sencillo, pero con grandes posibilidades en la línea de fomentar la comprensión y la conceptualización (consta de microscopios monoculares, de un refrigerador, balanza, centrífuga e incubadora). Los temas abordados a lo largo de los cinco años con los siguientes:

Año I: Introducción a los seres vivos (investigación en organismos vivos, las células, reproducción, etc.).

Año II: La Vida y los Procesos Vitales (cultivo de bacterias, las enfermedades, tamaño y superficie en los organismos vivos, crecimiento, etc.).

Año III: El Mantenimiento de la Vida (respiración, alimento y vida, la digestión, las plantas y la atmósfera, el habitat, etc.).

Año IV: Los Seres Vivos en Acción (comunidad y sucesión, sustancias en solución, estructura, ajuste, clímax y alimentación, influencias sobre el medio ambiente, etc.).

Año V: La Perpetuación de la Vida (el material de la herencia, los genes, desarrollo y evolución).

El curso se recoge en cinco guías para el profesor, varios libros de texto, y en otros materiales adicionales. Recientemente se ha desarrollado en Inglaterra una revisión de este curso,

teniendo en cuenta las sugerencias y aportaciones de profesores y expertos a lo largo de los últimos años (21).

2.10. *Harvard Project Physics*

El Proyecto Harvard de Física (22) puede considerarse como el primer escalón ascendido en los Estados Unidos hacia una enseñanza científica diferente, más humanística y «educativa», y menos enfocada hacia la especialización. Puede considerarse, en cierta medida, como un curso integrado, teniendo lugar la integración a lo largo de tres dimensiones:

- Integración entre la Física y otras ciencias.
- Integración entre la Ciencia y la Tecnología.
- Integración entre la Física y las Humanidades (historia, filosofía y literatura).

En la elaboración de este curso (que va destinado a estudiantes de los últimos años de la educación secundaria, 17-18 años de edad) han participado centenares de profesores y expertos, y se le ha sometido a una exhaustiva y profunda evaluación, la cual ha dado como frutos interesantes artículos y trabajos en relación con la didáctica de las ciencias. El enfoque seguido es histórico y humanista, procurándose que el alumno llegue a apreciar las relaciones de la Física con las otras ciencias y con las humanidades, así como con el desarrollo social y tecnológico en general. Las seis unidades o partes en que está dividido el proyecto, son:

Unidad 1: Conceptos del Movimiento. Esta unidad está centrada en el laboratorio, procurándose que el alumno realice un análisis conceptual y que se plantee los mismos interrogantes que anteriormente se plantearon figuras de gran talla histórica (Galileo, por ejemplo).

Unidad 2: Movimiento en los cielos. Estudios de las investigaciones de Newton y de sus leyes.

Unidad 3: El triunfo de la mecánica. Se generalizan las leyes de la mecánica newtoniana. Se localizan relaciones entre la Termología y la Biología, en lo que se refiere al principio de conservación de la energía.

Unidad 4: Luz y electromagnetismo. En esta unidad, se localizan interesantes relaciones entre la ciencia y la sociedad.

Unidad 5: Modelos del Atomo, en la cual se estudian las relaciones entre los modelos conceptuales y la evidencia experimental.

REFERENCIAS

(1) KARPLUS, R. «The Science Curriculum Improvement Study», en *Journal of Research in Science Teaching*, Vol. 2, pp. 293-303, 1964.

(2) La totalidad del material (libros, guías del profesor, y material experimental) es distribuida en la actualidad por Rand McNally and Co., School Order Dept.-SCIS, P. O. Box 7600, Chicago, Illinois, 60680.

(3) ATKIN, J. M.; KARPLUS, R. «Discovery or Invention?», en *The Science Teacher*, 29 (5), pp. 45-51, 1962.

(4) *The ESS Reader*, publicado por el Elementary Science Study, del E.D.C. (Educational Development Center), 55 Chapel Street, Newton, Mass., 02160, 1970. Se incluyen aquí un conjunto de artículos y trabajos relacionados con la metodología didáctica inspirada por el ESS. Otros dos libros, publicados por el ESS, de interés para adquirir información en torno a este proyecto o programa son: *A Working Guide to ESS* y *A Materials Book for the Elementary Science Study*, ambos distribuidos por el EDC.

(5) HURD, Paul D. *New Curriculum Perspectives for Junior High School Science*, Wadsworth Pub. Co., Belmont, Calif., 1970, pág. 118.

(6) AAAS (American Association for the Advancement of Science), 1515 Massachusetts Ave., N. W., Washington D. C., 20005.

(7) *Ciencia Combinada*, Ed. Reverté, Barcelona, 1973-1974.

(8) *Ibid.*, *Guía del Profesor*, Tomo I, p. XI.

(9) *Schools Council Integrated Science Project*, Longmans/Penguin, 1973-1975.

(9 bis) HURD, Paul D. *New Directions in Teaching Secondary School Science*, Rand McNally, Chicago, 1969, pp. 139-208. Tanto el proyecto PSSC, como algunos de los que reseñamos después, están magníficamente analizados en este libro de Hurd.

(10) PSSC: *Physics, 2nd Edition*, D. C. Heath and Co., Boston, 1965. Traducción al castellano: *Curso de Física*, 2.ª Edición, Ed. Reverté, Barcelona, 1966. Existen otras versiones de este curso, que también han sido publicadas por Ed. Reverté. Así, la 3.ª Edición, que consta de dos volúmenes contenidos, guía de laboratorio, guía del profesor, suplemento de temas avanzados, y un libro de tests. Está publicado también el *PSSC International*, integrado por los siguientes libros: *Física. Curso Universitario* (2 vols.), una guía de laboratorio y una guía del profesor.

(11) C.B.A.: *Chemical Systems*, McGraw Hill, Nueva York. Traducido con el título de *Sistemas Químicos*, Ed. Reverté, Barcelona, 1966.

(12) CHEM: *Chemistry-An Experimental Science*, W. H. Freeman and Co., San Francisco, 1963. Traducción o versión castellana: *Química: una ciencia experimental*, Ed. Reverté, Barcelona, 1972.

(13) CHEM: *Chemistry-An Investigative Approach*, Houghton Mifflin and Co., 1968; *Chemistry: Experiments and Principles*, Raytheon Educational, 1968; *Chemistry: Experimental Foundations*, Prentice-Hall, 1969.

(14) Las tres versiones son: *Biological Science: Molecules to Man* (Versión Azul), Houghton Mifflin, 1968; *High School Biology* (Versión Verde), Rand McNally, 1968; *Biological Science and Inquiry Into Life* (Versión Amarilla), Harcourt, Brace and World, 1968.

(15) I.P.S.: *College Introductory Physical Science*, Prentice-Hall, 1967. Versión en castellano: *Curso de Introducción a las Ciencias Físicas: Nivel Intermedio*, Ed. Reverté, Barcelona, 1973; *Ciencias Físicas II*, 1974.

(16) Nuffield Foundation Science Teaching Project: *Physics* (O Level, 1967). Traducido al castellano por Ed. Reverté, con el título de *Física Básica*; consta de 5 guías para el profesor, 5 libros para el alumno, 5 guías de experimentos, una «Guía de aparatos», «Test y exámenes» y «Guía de clase» (1973-1975).

(17) Nuffield Advanced Science Teaching Project: *Physics* (A Level, publicada entre 1971-1975). Traducción al castellano por Ed. Reverté: *Física Avanzada*, Barcelona, 1974-1976. Consta de 10 unidades (para el alumno), 10 guías para el profesor y varios libros y manuales de acompañamiento.

(18) Nuffield Foundation: *Chemistry* (O Level, 1967). Traducción: *Curso Modelo de Química*, Ed. Reverté, Barcelona, 1969-1973.

(19) Nuffield Advanced Science Teaching Project. *Chemistry* (1970). Versión al castellano: *Química Avanzada Nuffield*, Ed. Reverté, Barcelona, 1974-1976.

(20) Nuffield Foundation: *Biology* (Longmans, 1968). La traducción al castellano ha estado a cargo de Eds. Omega, Barcelona, 1970.

(21) *Revised Nuffield Biology* (General Editor: Grace Monger), Londres: Longmans Group, 1975.

(22) H.P.P. (*The Harvard Project Physics Course*): Holt, Rinerhart and Winston, Nueva York, 1970. Las características de este curso han sido descritas por James Rutherford: «Harvard Projects Physics: An Integrated Science Course», en *Tendences Nouvelles de l'integration des enseignements scientifiques*. UNESCO, Paris, 1971, pp. 290-293.

XIII. FUENTES DOCUMENTALES Y BIBLIOGRAFICAS

Ofrecemos en este último capítulo la reseña de un conjunto de libros y de revistas especializadas, todos ellos relacionados con la temática abordada a lo largo de los anteriores capítulos. Aunque disponemos de información sobre más obras de las aquí indicadas, hemos optado por incluir las de más actualidad e interés, según nuestro criterio (hasta 1976).

XIII.1. PUBLICACIONES PERIODICAS

a) Revistas sobre aspectos generales de la Educación (en particular, suelen incluir trabajos relacionados con la Didáctica de las Ciencias).

- *Bordón*. Revista publicada por la Sociedad Española de Pedagogía (Serrano, 127, Madrid-6). Periodicidad bimensual.
- *Ciencias de la Educación*. Publicada por el Instituto Calasancio de Ciencias de la Educación (ICCE), Eraso, 3, Madrid-28.
- *Cuadernos de Pedagogía*, Rambla de Cataluña, 10, Barcelona-7.
- *Edinforme* (Abstracto de Educación). Publicada por Servicios Educativos, S. A., Médico Rodríguez, 15, La Coruña.
- *Educadores* (Revista de la FERE). Bimensual. Conde de Peñalver, 45-4.º, Madrid-6.
- *Limen* (Revista de Orientación Didáctica), publicada por Ed. Kapelusz.
- *Revista Española de Pedagogía*. Publicada por el Instituto de Pedagogía de CSIC. Serrano, 127, Madrid-6.
- *Revista de Educación*. Publicada por el Servicio de Publicaciones del Ministerio de Educación y Ciencia. Secretaría General Técnica. Alcalá, 34. Madrid-14. Bimensual.
- *Vida Escolar*. Servicio de Publicaciones del Ministerio de Educación y Ciencia. Periodicidad mensual.

b) Revistas relacionadas con la Didáctica de las Ciencias. Se incluyen, en primer lugar, las alemanas e italianas, seguidas de las inglesas y de las americanas.

- *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht*. Publicada por la Unión Alemana para el fomento de la enseñanza de las Matemáticas y de las Ciencias Naturales. Mensual. Ferd. Dümmlers Verlag, Bonn.
- *Praxis der Naturwissenschaften*. Mensual. Aulis Verlag, Colonia.
- *Didáctica delle Science*. Ed. «La Scuola», Brescia. Mensual.
- *Education in Chemistry*. Bimensual. Publicada por Chemical Society Publications.
- *Education in Science*. Bimensual. Publicada por la Association for Science Education (Asociación Inglesa de la Didáctica de las Ciencias).
- *Physics Education*. Bimensual. Publicada por Physics Trust Publications.
- *Satis* (Science and Technology Information Sources for Teachers). Publicada por el Project Technology. Bimensual.
- *Science Education Newsletter*. Publicada tres veces al año y distribuida por las oficinas del British Council.
- *Science Teacher*. Publicación del Junior Club Publications. Bimensual.
- *School Science Review*. Distribuida a los miembros de la Association for Science Education (inglesa). Trimestral. Publicada por la Asociación.
- *American Biology Teacher*. Publicada mensualmente por The National Association of Biology Teachers (norteamericana).
- *Journal of Chemical Education*. Publicada por la American Chemical Society (División de Didáctica de las Ciencias). Mensual.
- *Journal of Research in Science Teaching*. Publicada trimestralmente por John Wiley and Sons, Nueva York.
- *Science and Children*. Publicación mensual de la National Science Teacher Association (NSTA), Washington.
- *Science Education*. Publicada en Albany, Nueva York.
- *Science for Society Education Review*, publicada por la Commission on Science Education, de la American Association for the Advancement of Science (AAAS), Washington D. C.
- *School Science and Mathematics*. Mensual. Publicación de la Association of Science and Mathematics Teachers.
- *The Physics Teacher*. Publicada por The American Institute of Physics, Nueva York.
- *The Science Teacher*. Mensual. Publicada por la National Science Teachers Association (USA), Washington.

XIII.2. ASPECTOS GENERALES

- BELL, D. *The Reforming of General Education*. Columbia University Press, Nueva York, 1966.
- BLOOM, B. S. et al. *Taxonomía de los objetivos de la educación*. Ed. Marfil, Alcoy, 1973.
- BLOOM, B. S. et al. *Handbook of Formative and Summative Evaluation of Student Learning*, McGraw Hill, Nueva York, 1971 (especialmente, el capítulo de L. E. Klopfer: «Evaluation of Learning in Science»).
- BRAITHWAITE, R. B. *La explicación científica*. Ed. Tecnos, Madrid (ed. original de 1953).
- BRUNER, J. *el proceso de la educación*. UTEHA, Méjico, 1972.
- BRUNER, J. S. B., et al. *A Study of Thinking*. John Wiley, Nueva York, 1956.
- BUNGE, M. *La investigación científica: su estrategia y filosofía*. 3.^a Ed. Ariel, 1973.
- CAPEK, M. *El impacto filosófico de la física contemporánea*. Ed. Tecnos, Madrid (ed. original de 1961).
- COHEN, B.; WATSON, F. G. (eds.). *General Education in Science*. Harvard Univ. Press, Cambridge, 1952.
- COMBER, L. C.; KEEVES, J. P. *Science Education in Nineteen Countries*. John Wiley and Sons, Nueva York, 1973.
- COOMBS, P. H. *La crisis mundial de la educación*. Ed. Península, 1971.
- DAVIES, L. M. *Exploring Occupations in Science, Fine Arts and Humanities*. McGraw Hill, Nueva York, 1976.
- DAVIES, G. *Psychology of Problem-Solving*. Basic Books, Nueva York, 1973.
- DEFORGE, Y. *L'éducation technologique*. Casterman, Paris, 1970.
- DEWEY, J. *Experiencia y educación*, Ed. Losada, Buenos Aires (ed. original. de 1938).
- DIENES, Z. P.; JEEVES, M. A. *Thinking in Structures*. Hutchinson, Londres, 1965.
- DIEUZEIDE, H. *La télévision au service de l'enseignement scientifique*. OCDE, Paris, 1960.
- EGGLESTON, J. F.; GALTON, M.; JONES, M. E. *A Science Teaching Observation Schedule*. McMillan Education, Inglaterra, 1975.
- FEYNMAN, R. *La nature des lois physiques*. Edit. Robert Laffont, Paris, 1970.
- GAGNE, R. M. *Las condiciones del aprendizaje*. Aguilar, Madrid, 1971.
- GARDNER, P. L. *The Structure of Science Education*. Longman Australia, 1975.
- GOODLAD, J. S. *Science for Non-Scientists*. Oxford Univ. Press, 1973.

- GOZZER, G. *Bases para organizar un curriculum de ciencias*. Ed. El Ateneo, Buenos Aires, 1974.
- GOZZER, G. et al. *La educación tecnológica: documentos para una investigación*. Ed. El Ateneo, Buenos Aires, 1972.
- GREEN, E. (ed.). *Towards Independent Learning in Science*. Granada Publishing, St. Albans, 1975.
- HADAMARD, J. S. *Psicología de la invención en el campo matemático*. Ed. Espasa-Calpe Argentina (ed. original en 1945).
- HALL, Marie B. (ed.). *Nature and Nature's Laws (Documents of the Scientific Revolution)*. Harper and Row, Nueva York, 1970.
- HARRE, R. *The Philosophies of Science: An Introductory Survey*. Oxford Univ. Press, 1972.
- HEDGES, W. D. *Testing and Evaluation for the Sciences*. Wadsworth Pub. Co., Belmont, California, 1966.
- HEISENBERG, W. *Física y Filosofía*. Ed. Emecé, Buenos Aires (ed. original, de 1959).
- HEMPEL, C. G. *Filosofía de la Ciencia Natural*. Ed. Alianza, Madrid, 1973.
- HUDSON, L. *Contrary Imaginations*. Methuen, Londres, 1966.
- HUXLEY, T. H. *Science and Education: Essays*. Appleton, Nueva York, 1899.
- IBAÑEZ-MARTIN, J. A. *Hacia una formación humanística. Objetivos de la educación en la sociedad científico-técnica*. Ed. Herder, Barcelona, 1975.
- ICE, Univ. Autónoma de Barcelona. *Coordinación horizontal y vertical del estudio de las ciencias en la EGB y el BUP*. Barcelona, 1972.
- JARRET, J. E. *The humanities and humanistic education*. Ed. Addison-Wesley, Reading, 1973.
- JEVONS, F. R. *The Teaching of Science: Education, Science and Society*. Allen and Unwin, 1969.
- JEVONS, W. T. *The Sciences and the Humanities*. Univ. of California Press, 1967.
- KLOPFER, L. E. *Case Study Techniques in Science*. Wadsworth Pub. Co., Belmont, Calif., 1968.
- KOESTLER, A. *The Act of Creation*. Hutchinson, Londres, 1964.
- KUHN, T. S. *La estructura de las revoluciones científicas*. FCE, Méjico (y Ed. Tecnos, Madrid, 1966).
- LAFOURCADE, P. D. *Evaluación de los aprendizajes*. Ed. Kapelusz, Buenos Aires, 1969.
- LAMBERT, K.; BRITAIN, G. *Introducción a la filosofía de la ciencia*. Ed. Guadarrama, Madrid, 1975.
- LAYTON, D. (ed.). *Studies in Science Education*. Vol. I (1974), Vol. II (1975), Vol. III (1976). Publicaciones del Centre for Studies in Science Education, Univ. of Leeds.
- LEON, A. *Histoire de l'éducation technique*. Presses Universitaires de France, Paris, 1961.

- LESSER, M. S. *Enseñanza efectiva de las ciencias*. UTEHA, Méjico, 1968.
- MAGER, R. F. *Formulación operativa de objetivos didácticos*. Ed. Marova, Madrid, 1973.
- MARGENAU, H. *La naturaleza de la realidad física*. Ed. Tecnos, Madrid, 1970.
- MARIN IBAÑEZ, R. *La interdisciplinaridad y la enseñanza en equipo*. ICE. Univ. Politécnica de Valencia, 1975.
- MARTIN, M. *Concepts of Science Education: A Philosophical Analysis*. Scott, Foresman and Co., 1972.
- MASLOW, A. *The Psychology of Science*. Harper and Row, Nueva York, 1966.
- MOTHES, H. *Methodik und Didaktik der Naturlehre*. Göttingen, 1968.
- NAGEL, E. *La estructura de la ciencia*. Ed. Paidós, Buenos Aires, 1974 (ed. original, de 1961).
- NEDELSKY, L. *Science Teaching and Testing*. Harcourt, Nueva York, 1965.
- NORTHROP, FSC. *The Logic of the Sciences and the Humanities*. The World Pub. Co., Nueva York, 1959.
- OPEN UNIVERSITY:
Fundamental Concepts in Technology (varias unidades didácticas).
Ciencia y Sociedad (McGraw Hill en español, 1974).
- ORMEROD, M.; DUCKWORTH, D. *Pupils' Attitudes to Science*. NFER, Inglaterra, 1975.
- PARIS, C. *Filosofía, ciencia, sociedad*. Ed. Siglo XXI, Madrid, 1972.
- POINCARÉ, H. *Ciencia e hipótesis*. Ed. Espasa-Calpe (ed. original de 1902).
- POLYA, G. *How to Solve It: A New Aspect of Mathematical Method*. Princeton Univ. Press, 1957.
- POPPER, K. R. *La lógica de la investigación científica*. Ed. Tecnos, Madrid (ed. original, de 1935).
- REUHLIN, M. *L'enseignement de l'an 2000*. Presses Universitaires de France, París, 1973.
- RICHARDSON, J. S. (ed.). *Perspectives in Science Education Series*. Charles E. Merrill Pub. Co., Columbus, 1967.
- RIDLEY, F. F. (ed.). *Specialists and Generalists*. Allen and Unwin, 1968.
- ROBINSON, J. T. *The Nature of Science and Science Teaching*. Wadsworth Pub. Co., Belmont, Calif., 1968.
- RODRIGUEZ, J. J. *Cómo organizar y planificar un club científico*. Ed. Kapelusz, Buenos Aires, 1972.
- SANABRIA, J. M. *La educación en la sociedad industrial*. EUNSA, Pamplona, 1969.
- SCHEFFLER, I. *Science and Subjectivity*. Bobbs-Merrill Co., Nueva York, 1967.

- SCHRODINGER, E. *Ciencia y humanismo*. Ed. Alhambra, Madrid, 1954.
- SCHWAB, J. J.; BRANWEIN, P. F. *The teaching of Science*. Harvard Univ. Press, Cambridge, 1962.
- SHERIF, M.; SHERIF, C. W. (eds.). *Interdisciplinary Relationships in the Social Sciences*. Aldine, Chicago, 1969.
- SHULMAN, L. S.; KEISLAR, E. R. (eds.). *Aprendizaje por el descubrimiento*. Ed. Trillas, Méjico, 1974.
- SHULMAN, L. S.; TAMIR, P. «Research on Teaching in the Natural Sciences», en el *Second Handbook of Research on Teaching* (A. Travers, ed.). Rand McNally, Chicago, 1972.
- SKEMP, R. S. *The Psychology of Learning Mathematics*. Penguin Books, 1971.
- SPRANGER, E. *Cultura y educación*. Ed. Espasa-Calpe, Madrid, 1966.
- STEP (Science Teacher Education Project):
The Art of the Science Teacher (C. R. Sutton, J. T. Hayson, eds.).
Readings in Science Education (E. W. Jenkins, R. C. Whitfield, eds.).
Theory into Practice. (J. Hayson, C. Sutton, eds.).
Activities and Experiences (R. Schofield, ed.).
 Publicados por McGraw Hill, Maidenhead, 1974/75.
- TATON, R. *Causalidad y accidentalidad en los descubrimientos científicos*. Ed. Labor, 1967.
- TAYLOR, C. W.; BARRON, F. (eds.). *Scientific Creativity: its recognition and Development*. John Wiley, Nueva York, 1963.
- TIerno GALVAN, E. *Humanismo y sociedad*. Seix y Barral, Barcelona, 1964.
- TISHER, R. P. et al. *Fundamental Issues in Science Education*. John Wiley, Nueva York, 1973.
- TISHLER, R. P. (ed.). *Science Education: Research 1973*. Australian Science Education Research Association, Brisbane, 1973.
- TOULMIN, S. (ed.). *Physical Reality*. Harper and Row, Nueva York, 1970.
- TRICKER, R. A. R. *The Contribution of Science to Education*. Mills and Boon, Londres, 1967.
- TYLER, R. W. *Principios básicos del currículo*. Ed. Troquel, Buenos Aires, 1973 (ed. original, de 1949).
- UNESCO:
UNESCO Source Book for Science Teaching (Nueva York, 1962).
New Trends in Integrated Science Teaching. Vol. I (1971), Vol. II (1973), Vol. III (1975).
Using Science Apparatus (Nueva York, 1974).
- VIDAL, F. *Problem-Solving: Méthodologie générale de la créativité*. Ed. Dunod, Paris, 1971.
- WARREN, K.; LOWE, N. K. *The Production of School Science Equipment*. The Commonwealth Secretariat, Publications Section, Londres, 1975.

- WATSON, F. G. «Research on Teaching Science», en el *Handbook of Research on Teaching* (N. L. Gage, ed.), Rand McNally, Chicago, 1963.
- WHITEHEAD, A. N. *La ciencia y el mundo moderno*. Ed. Losada, Buenos Aires (ed. original. de 1925).
Los fines de la educación. Ed. Paidós, Buenos Aires (ed. original, de 1929).
- YUDKIN, M. *General Education. A Symposium on the Teaching of Non-Specialists*. The Penguin Press, 1969.

XIII.3. NIVELES BASICO-ELEMENTALES

La reseña de libros, tanto en este apartado como en el XIII.4., se centra en contenidos didácticos y metodológicos. En ninguno de los dos apartados incluimos referencias a libros de texto y material pedagógico (véase, en relación con dichos aspectos, el capítulo 12.^o).

- ALVAREZ RODRIGUEZ, J. *Sobre la enseñanza de las ciencias en la escuela primaria*. CEDODEP, Madrid, 1963.
- ALLEN, G. et al. *Scientific Interests in the Primary School*. National Froebel Foundation, Londres, 1966.
- BLOUGH, G. O.; SCHWARTZ, J. *La enseñanza elemental de las ciencias*. Ed. Magisterio Español, Madrid, 1966.
- CARIN, A. A.; SUND, R. B. *La enseñanza de las ciencias por el descubrimiento*. UTEHA, Méjico, 1967 (existe una segunda edición, en lengua inglesa, por C. E. Merrill Pub. Co., Columbus, 1970).
- USMES (Unified Science and Mathematics Education in the Schools). *Goals for the Correlation of Elementary Science and Mathematics*. Houghton Mifflin, Boston, 1969.
- E. S. S. (Elementary Science Study). *The ESS Reader*. Education Development Center, Newton, Mass. 1970.
- FESQUET, A. E. *Enseñanza de las ciencias en la escuela intermedia*. Ed. Cincel, 1971.
El laboratorio escolar. Kapelusz, Buenos Aires, 1974.
- FLAVELL, J. A. *La psicología evolutiva de Jean Piaget*. Ed. Paidós, Buenos Aires, 1974 (ed. original, de 1963).
- FREINET, C. *La enseñanza de las ciencias*. Ed. Laia, Barcelona, 1973.
- GOLDBERG, L. *Children and Science*. Charles Scribner's Sons, Nueva York, 1970.
- GOOD, R. *How Children Learn Science*. McMillan, Nueva York, 1976.
- HOLT, J. *Cómo aprenden los niños pequeños y los escolares*. Ed. Paidós, Buenos Aires, 1974.
- HURD, H. C. *Science for Children*. Random House, Nueva York, 1974.
- HURD, P. D. *New Curriculum Perspectives for Junior High School Science*. Wadsworth Pub. Co., Belmont, Calif., 1970.
New Directions in Elementary Science Teaching, Wadsworth, 1969.
- KARPLUS, R.; THIER, H. D. *A New Look at Elementary School Science*, Rand McNally, Chicago, 1967.

- KUSLAN, L.; STONE, A. H. (eds.). *Readings on Teaching Children Science*. Wadsworth Pub. Co., Belmont, 1969.
The Nature of Child Thought in Science. Wadsworth, 1968.
- LANDETE, A. *Didáctica de las Ciencias Naturales*. Anaya, Salamanca, 1971.
- LOVELL, K. *Didáctica de las matemáticas: sus bases psicológicas*. Ed. Morata, 1969 (traducción de la 5.ª ed., de 1966).
- LURIA, A. R. et al. *Psicología y Pedagogía*. Akal Editor, Madrid, 1973.
- PIAGET, J. *The Child's Conception of Time*. Ballantine Books, Nueva York, 1971. Ed. original, de 1927).
The Child's Conception of Physical Causality. Littlefield, Adams and Co., 1972.
The Child's Conception of the World. Littlefield, Adams and Co., 1972 (ed. original, de 1926; traducido también por Ed. Morata, Madrid, 1973).
De la lógica del niño a la lógica del adolescente. Ed. Paidós, Buenos Aires, 1972.
La représentation de l'espace chez l'enfant. Presses Universitaires de France, Paris, 1972 (ed. original, de 1956).
The Child's Conception of the World. Littlefield, Adams and Co., 1972 (ed. original, de 1926; traducido también por Ed. Morata, Madrid, 1973).
De la lógica del niño a la lógica del adolescente. Ed. Paidós, Buenos Aires, 1972.
La représentation de l'espace chez l'enfant. Presses Universitaires de France, Paris, 1972 (ed. original, de 1956).
- RAMIREZ DEL POZO, S. *Ciencias Naturales* (Guías de Orientación Didáctica, Serie EGB, Núm. 1). ICE de la Univ. de Granada, 1975.
- RENNER, J. W. et al. *Teaching Science in the Elementary School*. 2.ª Ed. Harper and Row, Nueva York, 1973.
- RUSSELL, M. *Didáctica de las ciencias aplicada a la escuela elemental*. Ed. Trillas, Méjico, 1970.
- SALEM, D. *Experiencias científicas para maestros de escuelas elementales*. UTEHA, Méjico, 1968.
- SHECKLES, M. *Cómo enseñar las ciencias al escolar*. Ed. Paidós, Buenos Aires, 1964.
- STEVENS, R. A. *Out-of-School Science Activities for Young People*. UNESCO, 1969.
- SUCHMAN, J. R. *The Elementary School Training Program in Scientific Inquiry*. Univ. of Illinois Press, Urbana, 1962.
- THIER, H. D. *Teaching Elementary School Science: A Laboratory Approach*. D. C. Heath and Co., Boston, 1970.
- VESSEL, M. J. *Las ciencias en la escuela primaria*. Buenos Aires, 1968 (ed. original de 1963).
- VICTOR, E.; LERNER, M. E. *Readings in Science Education for the Elementary School*. McMillan, Nueva York, 1967.
- VRANA, R. S. *Junior High School Science Activities*. Prentice-Hall, 1969.

XIII.4. NIVELES SECUNDARIOS Y SUPERIORES

- ANDERSEN, H. O. *Readings in Science Education for the Secondary School*. McMillan, Nueva York, 1969.
- ASE (Association for Science Education, Inglaterra). *The Teaching of Science in Secondary Schools*. Murray, 1970.
- AUMILLER, M. F. *Teaching High School Chemistry: A Handbook of Effective Techniques*. Prentice-Hall, 1972.
- AVERY, J. H.; INGRAM, A. W. K. *Objective Tests in Advanced Level Physics*. Heinemann Educational, 1970 (Vol. 2.º, 1975).
- BAKER, B.; KOTSONIS, H. H. *Modern Lesson Plans in Environmental Science*. Prentice-Hall, 1972.
- BELHAM, A. D. *Projects in Physics for the Secondary School*. Batsford, 1966.
- BIELOHLAWEK, H. *Chemie in der Volksschule*. Verlag Cassianeum, Donauwörth, 1965.
- *Physik in der Volksschule*. Donauwörth, 1966.
- BILLING, D. E.; FURNISS, B. S. (eds.). *Aims, Methods and Assessment in Advanced Science Education*. Heyden and Son, 1973.
- BRADLEY, L. D. *Career Education and the Biological Sciences*. Houghton Mifflin, Boston, 1975.
- BROWN, S. C. (ed.). *The Education of a Physicist*. Oliver and Boyd, 1966.
- BROWN, S. C. et al. (eds.). *Why Teach Physics?* The MIT Press, 1964.
- BRUNOLD, C. *L'enseignement scientifique de second degré*. Institut Pédagogique National, 1960.
- BULMAN, A. D. *Physics Projects*. Murray, 1972.
- CONSERVATION EDUCATION PROJECT (P. Kelly, J. Barker, directores); varios volúmenes. Evans Brothers Ltd., Londres, 1975.
- COOK, J. B. (ed.). *Multiple Choice Questions in A-Level Physics*. 3 volúmenes. Pergamon Press, 1970.
- DANIELS, D. (ed.). *New Movements in the Study and Teaching of Chemistry*, Londres, 1976.
- E. S. Project («Environmental Studies for Urban Youth»). Trabajo patrocinado por el American Geological Institute. Washington, 1971-73.
- FLORKE, W.; FLOHR, F. *Methode und Praxis der chemischen Unterrichts*. 3.ª Ed. Quelle und Meyer, Heidelberg, 1969.
- FORNOFF, F. J. *A Survey of the Teaching of Chemistry in Secondary Schools*. Princeton: Educational Testing Service, 1969.
- FOWLER, S. *Las ciencias en la escuela secundaria*. Ed. Troquel, Buenos Aires, 1968.

- FOWLES, G. *Experimentos químicos de cátedra*. Ed. Marin (ed. original, de 1963).
- FREY, K.; BLANSDORF, K. *Integriertes Curriculum Naturwissenschaft: Projekte und Innovationsstrategien*. Beltz Verlag, 1974.
- HAHN, K. et al. *Methodik des Physikunterrichts*. Quelle und Mayer, Heidelberg, 1971.
- HAYES, M. *Projects in Chemistry for the Secondary School*. Batsford, 1967.
- HILL, J. W. *A Question Guide to CSE Physics*. Cassell, Londres, 1975.
- HILTON, A. C.; HILTON, D. A. *Projects in Biology for the Secondary School*. Batsford, Londres, 1966.
- HURD, P. D. *Biological Education in American Secondary Schools 1890-1960*. American Institute of Biological Sciences, 1961.
New Directions in Teaching Secondary School Science. Rand McNally, Chicago, 1969.
- ICE de la Univ. de Oviedo. *Programación del Area de Ciencias de la Naturaleza en la 2.ª Etapa de la EGB*. (M.ª L. Fernández Castañón, directora). Oviedo, 1973.
- JOHNSON, K. *Multiple Choice Physics for CSE and O-Level*. G. Bell and Sons, Londres, 1975.
- JUNG, W. *Beiträge zur Didaktik der Physik*. Diesterweg, Francfort, 1970.
- KNOLL, K. *Didáctica de la enseñanza de la Física*. Ed. Kapelusz, Buenos Aires, 1974.
- LEBOUTET, L. *L'enseignement de la physique*. Presses Universitaires de France, París, 1973.
- LEWIS, J. L. (ed.). *Teaching School Physics*. Penguin Books/UNESCO, 1972.
- LEYDEN, M. B.; PETERSON, M. P. *Career Education and Physical Sciences*. Houghton Mifflin, Boston, 1975.
- MILLARD, R. *Careers in Environmental Protection*. Simon and Schuster, Nueva York, 1974.
- NEWBURY, N. F. *The Teaching of Chemistry*. 3.ª Ed. Heinemann, 1965.
- OCDE:
Pour un nouvel enseignement de la chimie. París, 1961.
Chemistry Today: A Guide for Teachers. París, 1963.
Chimie Scolaire. París, 1964.
Teaching Physics Today: Some Important Topics. París, 1965.
New Thinking in School Biology. París, 1963.
Biologie moderne: son role dans l'éducation. París, 1966.
- OURISSON, M. G. *L'enseignement de la chimie au niveau universitaire*. Strasbourg, 1966.
- PROJECTS IN PHYSICS SERIES. Varios volúmenes. Editados por Wheaton, Exeter, a partir de 1975.

- REDMAN, L. A. *The Physics Teaching Handbbok 1971*. Longman, 1971.
- RENNER, J.; STAFFORD, D. *Teaching Science in the Secondary School*. Harper and Row, Nueva York, 1972.
- ROCA ROCA, A. *Ciencias Naturales* (Guías de Orientación Didáctica, Serie Bachillerato). ICE de la Univ. de Granada, 1975.
- ROMANO, D. *Elementos y técnicas del trabajo científico*. Ed. Teide, Barcelona, 1973.
- SCHOOLS COUNCIL PROJECT ENVIRONMENT. Varios volúmenes. Publicados por Longman, a partir de 1975.
- SIMPSON, O. J. *Multiple Choice Chemistry*. Edward Arnold, 1969.
- SOPER, R.; SMITH, T. *Advanced Multiple Choice Biology*. Harrap, Londres, 1975.
- SUAREZ, A.; MUÑOZ, A. *El método del seminario en la enseñanza media*. Ed. Trillas, Méjico, 1971.
- SUND, R.; TROWBRIDGE, L. *La enseñanza de la ciencia en la escuela secundaria*. Ed. Paidós, Buenos Aires, 1969.
- THOMPSON, R. E. *A Survey of the Teaching of Physics in Secondary Schools*. Educational Testing Service, Princeton, 1969.
- UNESCO:
New Trends in Chemistry Teaching. Vol. I (1967), Vol. II (1969).
Tendences nouvelles de l'enseignement de la chimie. Vol. IV (1975).
New Trends in Physics Teaching. Vol. I (1968).
- URIEL, C. *Enseñanza moderna de las ciencias en el grado medio*. Dir. Gral. de Enseñanza Media, 1962-64 (versión española del *Secondary Modern Science Teaching*).
- VIDAL-BOX, C. *Didáctica y metodología de las Ciencias Naturales*. Dir. Gral. de Enseñanza Media, Madrid, 1961.
- WAGENSCHHEIN, M. *Die pädagogische Dimension der Physik*. 3.^a Ed. Westerman, Braunschweig, 1971.
- YUSIKOVICH, V. F. (ed.). *Methods of Teaching Physics in Soviet Secondary Schools*. Daniel Davey and Co., Nueva York, 1966.
- ZADOU-NAISKY, G. *Les sciences physico-mathématiques dans l'enseignement*. Presses Universitaires de France, Paris, 1954.

Elías Fernández Uría es catedrático de Física y Química de Institutos Nacionales de Bachillerato, y antiguo colaborador del ICE de Zaragoza.

La presente obra supone una síntesis del pensamiento del autor en torno al campo de la Didáctica de las Ciencias, fruto de un largo contacto con profesores, de la experiencia personal y de un estudio sistemático sobre el tema realizado en la Universidad de Stanford (1973-74). Aunque el nivel fundamental al que se destina corresponde al BUP, gran parte de los contenidos están dirigidos a la EGB y a la Universidad.

El enfoque básico es de tipo estructural, procurándose analizar el conjunto de factores intervinientes en un proceso didáctico congruente con la propia naturaleza de la ciencia (filosófica, histórica, tecnológica y experimental); de ahí que el estudio de los factores estructurales básicos de la ciencia forme parte destacada del libro.