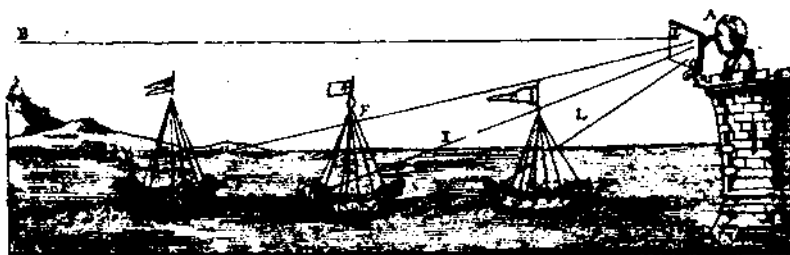


INVESTIGACIÓN



Y EXPERIENCIAS DIDÁCTICAS

HACIA UN ENFOQUE MÁS CRÍTICO DEL TRABAJO DE LABORATORIO*

HODSON, D.
The Ontario Institute for Studies in Education, Toronto (Canadá).

SUMMARY

The tradition which has assumed since the past century the central role of practical work in science education, is argued in this paper. The author reviews the assumptions that justify the educational benefits of practical work, and he does a critical scrutiny of its use and misuse in science education.

La idea predominante entre los educadores de ciencias es que la experiencia práctica es la esencia del aprendizaje científico. Sin embargo, si tenemos en cuenta la importancia que se concede a la experiencia en el laboratorio, vemos que se han realizado pocos análisis sistemáticos de los logros que se pueden obtener en el laboratorio de ciencia.

Nersessian 1989

INTRODUCCIÓN

Aunque ha sido periódicamente desacreditado —y en ocasiones calificado como «una pérdida de tiempo»—, la importancia que el trabajo de laboratorio tiene dentro de la educación en ciencias ha permanecido incontestada desde que el *Education Department* declaró, en el Código de 1882, que «la enseñanza de los alumnos en materias científicas se llevará a cabo principalmente con

experimentos». Con el paso de los años, se ha establecido «una fe profundamente inamovible en una tradición que ha asumido la condición de un absoluto sobre lo que es y debe ser la enseñanza de las ciencias» (Waring 1985).

Resulta interesante comprobar que, pese al apoyo casi universal que recibe del colectivo de profesores de ciencias, se ha investigado muy poco para obtener evidencias convincentes que puedan corroborar su eficacia y justificar así la enorme inversión de tiempo, energía y recursos con razones más convincentes o tangibles que las meras «sensaciones profesionales».

Con la aparición de los *National Curricula* en Gran Bretaña y Nueva Zelanda, y el cambio de tendencia registrado en muchos países (incluido Canadá) adoptando métodos más rigurosos de evaluación basados en criterios, se ha vuelto a centrar la atención en el trabajo práctico¹ y parece oportuno este momento para volver a realizar un examen crítico de su papel y de los supuestos beneficios educativos que pueden derivarse del mismo.

EXPLORANDO LOS FUNDAMENTOS LÓGICOS

Lynch (1987) observó que «cuando un grupo de profesores muestra su aprobación sobre el trabajo práctico es probable que lo haga teniendo en mente objetivos muy dispares». En efecto, al preguntar a los profesores acerca de sus razones para hacer que los estudiantes participen en actividades prácticas, se observa que el abanico de motivos es desconcertante. Teniendo en cuenta los objetivos de este artículo, podemos agruparlos en cinco categorías generales:

1. Para motivar, mediante la estimulación del interés y la diversión.
2. Para enseñar las técnicas de laboratorio.
3. Para intensificar el aprendizaje de los conocimientos científicos.
4. Para proporcionar una idea sobre el método científico y desarrollar la habilidad en su utilización.
5. Para desarrollar determinadas «actitudes científicas», tales como la consideración con las ideas y sugerencias de otras personas, la objetividad y la buena disposición para no emitir juicios apresurados.

Aun cuando son citados por muchos profesores, los motivos relacionados con el desarrollo de destrezas sociales no han sido incluidos en esta lista debido a que no están específicamente relacionados con la ciencia.

En una valoración crítica del trabajo práctico, lo primero que se debería hacer es formular una serie de preguntas:

1. ¿El trabajo de laboratorio motiva a los alumnos? ¿Existen otras formas alternativas o mejores de motivarlos?
2. ¿Los alumnos adquieren las técnicas de laboratorio a partir del trabajo práctico que realizan en la escuela? ¿La adquisición de estas técnicas es positiva desde un punto de vista educativo?
3. ¿El trabajo de laboratorio ayuda a los alumnos a comprender mejor los conceptos científicos? ¿Hay otros métodos más eficaces para conseguirlo?
4. ¿Cuál es la imagen que adquieren los alumnos sobre la ciencia y la actividad científica al trabajar en el laboratorio? ¿Se ajusta realmente esa imagen a la práctica científica habitual?
5. ¿Hasta qué punto el trabajo práctico que efectúan los alumnos puede favorecer las denominadas «actitudes científicas»? ¿Son éstas necesarias para practicar el correcto ejercicio de la ciencia?

MOTIVACIÓN

Aunque muchos alumnos disfrutan del tipo de actividades que les ofrecemos en clase y consecuentemente desarrollan actitudes positivas hacia la ciencia (Keys 1987), no ocurre lo mismo con un buen número de ellos y hay «una importante minoría que expresa su aversión al trabajo práctico» (Head 1982, el énfasis es añadido). Tal como afirman Gardner y Gauld (1990), «los estudiantes normalmente disfrutan cuando trabajan en el laboratorio... no todos de igual manera, e incluso un estudiante que se deleite puede encontrar algunos de sus aspectos insatisfactorios». También hay que destacar que el entusiasmo por el trabajo práctico a menudo disminuye de forma significativa con la edad (Lynch y Ndyetabura 1984).

A pesar de que no parece haber grandes y constantes diferencias entre chicos y chicas sobre las actitudes y el interés que muestran por el trabajo práctico (Kelly 1988, Murphy 1991), por lo visto, los chicos se «interesan más» y son más activos (Tobin 1988, Taber 1992), mientras que las chicas dan la impresión de tener menos seguridad y solicitar la ayuda del profesor con más frecuencia (Lock 1992). Si bien las chicas parecen estar menos seguras que los chicos en las «investigaciones abiertamente científicas», abordan los problemas dentro de un «contexto cotidiano» con igual confianza (APU 1989).

Las preguntas que yo mismo formulé a alumnos de edades comprendidas entre 13 y 16 años pertenecientes a escuelas de Auckland (Nueva Zelanda) revelaron que, mientras que un 57% muestra una buena disposición hacia el trabajo práctico, un 40% expresa su entusiasmo con comentarios como «me gusta cuando sé lo que estoy haciendo», «me gusta cuando hacemos nuestros propios experimentos» y «no me gusta cuando sale mal».

(Hodson 1990). Con frecuencia lo que resulta atrayente es la oportunidad para poner en práctica métodos de aprendizaje más activos, para interactuar más libremente con el profesor y con otros alumnos y para organizar el trabajo como mejor se adapte al gusto del alumno, y no la ocasión de llevar a cabo una investigación de banco de laboratorio *per se*.

No hay duda de que el punto en cuestión que aquí se debate es el tipo de trabajo práctico que ofrecemos. Es habitual que permitamos a los alumnos más jóvenes participar en investigaciones personales poco estructuradas, mientras que pedimos a los de mayor edad que realicen *ejercicios* prácticos de acuerdo con un conjunto de indicaciones explícitas (Pizzini et al. 1991) y en el momento de su vida en el que luchan por afirmar su propia individualidad. No es de extrañar que pierdan el interés y el entusiasmo. Lo que los estudiantes de todas las edades parecen valorar es el desafío cognitivo (aunque el trabajo no tiene que ser tan difícil que no pueda comprenderse y debe ser relativamente fácil de llevar a cabo): hacer un «experimento adecuado» (que tenga un objetivo claro y «funcione») y tener una medida de control e independencia suficientes (Watts y Ebbutt 1988, Bliss 1990, Ebenezer y Zoller 1993).

ADQUISICIÓN DE HABILIDADES

Tradicionalmente, los argumentos a favor del trabajo práctico como un medio para desarrollar las destrezas de laboratorio han sido de dos tipos. En primer lugar figuran aquellos relacionados con la adquisición de una serie de habilidades generalizables y libres de contenido, que se cree que son transferibles a otras áreas de estudio y válidas para todos los alumnos como un medio para enfrentarse a los problemas cotidianos que se dan fuera del laboratorio. En segundo lugar están aquellos argumentos que afirman desarrollar la destreza y las técnicas de investigación básicas consideradas como esenciales para futuros científicos y técnicos. Mientras que este último grupo de argumentos es éticamente dudoso (puesto que requiere que la educación de *todos* los niños esté subordinada a las necesidades percibidas de los pocos que lleguen a estudiar ciencias en un nivel avanzado o a trabajar en un laboratorio) y excesivamente ambicioso (exige que los profesores hagan predicciones acerca de las futuras oportunidades de empleo y de la demanda de trabajo de laboratorio), hay que decir que el primer grupo de argumentos raya en el absurdo. Resulta difícil reconocer, por ejemplo, en qué sentido la habilidad para usar correctamente una pipeta y una bureta, haciendo un análisis volumétrico, es transferible a un contexto de laboratorio en el que se va a emplear un osciloscopio o un microscopio, o en el que se va a diseccionar una pintarroja. Más difícil es incluso apreciar cómo dicha habilidad puede ser transferida a una situación de la vida diaria *ajena al laboratorio*. Sin embargo, es precisamente esta idea la que sostienen muchos defensores de la enseñanza basada en las destrezas.

Es más, existen abundantes pruebas que demuestran que el tipo de experiencias prácticas que presentamos en

clase *no* dan lugar a la adquisición de ninguna de tales destrezas (APU 1982 y 1985, Toothacker 1983, Newman 1985). Incluso después de varios años de recibir clases de ciencias orientadas prácticamente, muchos alumnos son incapaces de llevar a cabo tareas sencillas de laboratorio de forma precisa, segura y entendiendo lo que hacen. El informe *Science at Age 15* de la APU (1985) revela, por ejemplo, que sólo el 11% de los alumnos sabe leer correctamente un amperímetro programable, que únicamente el 14% es capaz de montar un circuito eléctrico según un determinado diagrama de circuitos y que no más del 57% puede realizar correctamente una sencilla técnica de filtración para separar el óxido de cobre sobrante durante la preparación del sulfato de cobre.

En otra ocasión ya manifesté (Hodson 1990) que la adquisición de técnicas o destrezas de laboratorio tiene poco valor en sí misma, si es que tiene alguno. Más bien estas destrezas son un medio para alcanzar un fin —siendo ese fin la *enseñanza superior*—. Intentar justificar el trabajo práctico en la escuela en términos de desarrollo de ciertas destrezas es ser culpable de poner el carro delante del caballo. No se trata de que el trabajo práctico sea necesario para que los alumnos adquieran ciertas técnicas de laboratorio, sino de que estas habilidades particulares son necesarias si queremos que los estudiantes participen con éxito en el trabajo práctico. De esto se desprenden dos puntos: deberíamos enseñar sólo aquellas destrezas que resulten *útiles* para la enseñanza posterior y, cuando éste fuera el caso, deberíamos asegurarnos de que esas habilidades sean desarrolladas a un nivel de competencia satisfactorio. Mi opinión es que cuando la buena realización de un experimento exija una habilidad que los niños *no* van a volver a necesitar, o niveles de competencia que no pueden alcanzar *rápidamente*, se deben encontrar procedimientos alternativos, tales como el premontaje de aparatos, la demostración del profesor o la simulación con ordenador.

Este punto de vista no está concebido en contra de la enseñanza de cualquier destreza de laboratorio. Es más bien un argumento a favor de ser más críticos sobre *cuáles* han de ser las habilidades que se enseñen, a favor de dejar claro a los estudiantes que algunas técnicas de laboratorio permiten realizar otras actividades de aprendizaje útiles, y a favor de asegurarse de que la carencia de determinadas habilidades no constituye una barrera adicional para el aprendizaje.

APRENDER CONOCIMIENTOS CIENTÍFICOS Y APRENDER LOS MÉTODOS DE LA CIENCIA

Los datos empíricos que hacen referencia a la eficacia del trabajo práctico como un medio para adquirir conocimientos científicos son difíciles de interpretar y poco concluyentes. Si reflexionamos acerca de esta cuestión, llegaremos a la conclusión de que no se puede afirmar que el trabajo práctico sea superior a otros métodos y, en ocasiones, parece ser *menos útil* (Hofstein y Lunetta 1982, Kirschner y Meester 1988, Gunstone y Champagne 1990 y Tobin 1990).

Hace unos años, un estudio norteamericano sobre tres maneras de enseñar biología (clase/discusión; trabajo de laboratorio/discusión; clase/demostración de profesor/discusión) reveló que el trabajo práctico demostraba ventajas significativas sobre otros métodos únicamente respecto al desarrollo de las técnicas de laboratorio (Yager et al. 1969). No se registraron diferencias significativas en lo referente a conceptos adquiridos, comprensión de la metodología científica o motivación. En otras palabras: ¡la única ventaja del trabajo práctico radica en conseguir ciertos objetivos de aprendizaje que los otros métodos ni siquiera se plantean! En un estudio sobre clases prácticas de física, Moreira (1980) encontró que los estudiantes a menudo llevan a cabo ejercicios en clase teniendo sólo una ligera idea de lo que están haciendo, sin apenas comprender el objetivo del experimento o las razones que han llevado a escoger tal o cuál práctica, y con escaso entendimiento de los conceptos subyacentes. Parece que estén haciendo poco más que «seguir unas recetas». En el mejor de los casos, estas actividades son una pérdida de tiempo. Y lo más probable es que causen confusión y resulten contraproducentes.

Igualmente decepcionantes son los resultados aportados por la investigación sobre el conocimiento de los alumnos acerca de la naturaleza de la investigación científica: es frecuente que el trabajo práctico individual se revele contraproducente y dé lugar a una comprensión incoherente y distorsionada de la metodología científica (Millar 1989, Selley 1989, Klopfer 1990). Estos problemas son, en gran medida, la herencia que ha quedado de los métodos de aprendizaje enfocados al descubrimiento e introducidos con tanto entusiasmo y tantas esperanzas durante la década de 1960. Al parecer, el ímpetu demostrado por la enseñanza por descubrimiento ha sido la base para afirmar que los alumnos encuentran motivación en las prácticas directas y orientadas a la investigación, así como la creencia de que estos métodos están muy cerca de las «formas naturales de aprendizaje» de los niños. Según Kirschner (1992), estas suposiciones surgieron como consecuencia de una interpretación errónea de la obra de Ausubel sobre aprendizaje *repetitivo* y aprendizaje *significativo*, equiparando equivocadamente el aprendizaje repetitivo a los métodos de transmisión/recepción y el aprendizaje significativo a los métodos basados en el descubrimiento. El resultado fue asumir que el mejor modo de aprender la ciencia es mediante actividades basadas en un modelo de actividad científica. Desgraciadamente, los cursos Nuffield sobre ciencias (y sus homólogos norteamericanos) agravaron esta suposición problemática al mezclar los puntos de vista progresistas centrados en el alumno, que ponían énfasis en la experiencia directa y en el aprendizaje mediante la investigación y el descubrimiento con anticuadas ideas inductivistas sobre la naturaleza de la investigación científica. Al fomentar el valor de la experiencia directa y los planes de estudio orientados a la investigación, al enfatizar el valor que sobre la motivación entraña el descubrimiento conseguido por uno mismo y al emplear términos como *observación*, *experimento* e *investigación*, se creó un modelo de aprendizaje que parecía encajar perfectamente con los puntos de vista inductivistas tradicionales del método científico. Así lo afirman Cawthron y Rowell (1978):

«Todo parecía encajar; la lógica del conocimiento y la psicología del conocimiento se habían fundido bajo el término mesmérico² «descubrimiento» y los educadores no tenían muchas razones obvias para buscar más allá de las tradicionales explicaciones inductivistas-empiristas del proceso».

Lo que empezó como una justificación psicológica del aprendizaje a través del descubrimiento, se transformó en una justificación de carácter epistemológico. Por desgracia, la visión de la ciencia promovida por el aprendizaje a través del descubrimiento era totalmente distorsionada y basaba en un número de suposiciones equivocadas acerca de la prioridad y la certeza de las observaciones. Varios escritores han estudiado la base teórica del aprendizaje centrado en el descubrimiento; otros han discutido los problemas con los que se han encontrado a la hora de poner en práctica en clase tales estrategias de aprendizaje. No podemos presentar aquí detalladamente los argumentos y los hallazgos fruto de la investigación; basta con decir que existe una fuerte corriente de opinión cuyo mensaje es que el aprendizaje basado en el descubrimiento es epistemológicamente equivocado, psicológicamente erróneo y pedagógicamente impracticable (Driver 1975, Strike 1975, Atkinson y Delamont 1976, Stevens 1978 y Selley 1989).

Aunque puede resultar relativamente fácil comprobar cómo los diseñadores de planes de estudios de los años sesenta —que no pudieron beneficiarse de los puntos de vista contemporáneos sobre la filosofía y la sociología de la ciencia o de los recientes hallazgos relativos al aprendizaje de la ciencia en los niños— se inclinaron por el aprendizaje basado en el descubrimiento de orientación inductiva, resulta mucho más complicado dar cuenta del uso continuado de este enfoque (Kyle et al. 1985, Harty et al. 1989, Meichtry 1992). Varios factores pueden servir para explicar este hecho. En primer lugar, su simplicidad aparente. La visión inductivista de la ciencia resumida en el aprendizaje basado en el descubrimiento es más «sencilla» que otros modelos de la ciencia y los alumnos pueden seguirla con «más facilidad». De hecho, existen datos para sugerir que los profesores que adoptan modelos alternativos en grupos que se muestran con gran capacidad de solvencia vuelven a las posturas inductivistas en aquellas clases que demuestran ser menos capaces (Hodson 1993). En segundo lugar está el prestigio pedagógico de que gozan los métodos centrados en el alumno, los cuales, debido a características lingüísticas comunes (indagación, investigación, observación, descubrimiento, etc.), operan a favor de un modelo científico inductivista (Harris y Taylor 1983). En tercer lugar figuran los criterios inadecuados propios de los profesores acerca de la naturaleza de la ciencia, que se derivan de sus propias experiencias de aprendizaje en los cursos de ciencias a los que asistieron en la escuela y en la universidad, y que son reforzados por la mitificación que de tal naturaleza hacen los libros de texto y de materiales de ciencias (Smolicz y Nunan 1975, Cawthron y Rowell 1978, Nadeau y Desautels 1984). Por último, en cuarto lugar podemos señalar la comodidad resultante que produce la creencia en un método científico característico, o incluso en un

algoritmo preciso, capaz de dirigir las investigaciones científicas.

Esta última motivación es la que en parte respalda el conocido *enfoque sobre los procesos* para la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias. Wellington (1989) presenta algunos datos históricos que hablan del aumento de planes de estudio orientados al proceso en Gran Bretaña y EEUU, y cita varios factores responsables entre los que incluye el fracaso de los planes de estudio basados en los contenidos, el crecimiento del movimiento *Science for All* (que preconiza un enfoque «menos exigente»), la «explosión de la información» (que dio lugar a las primeras muestras de redundancia de la información científica y, por lo tanto, una menor demanda de su «conocimiento»), el desarrollo de la tecnología de la información (que hace «innecesario» que los estudiantes tengan que dominar un amplio cuerpo de conocimientos) y el impacto de la evaluación, sobre todo el interés surgido por la evaluación del trabajo práctico (Buchan y Jenkins 1992). Incluyendo todos estos factores está la aceptación sin reservas de la idea de que las destrezas y los procesos de la ciencia son *genéricos* (es decir, libres de contenido y generalizables) y que pueden ser *transferidos* a otros contextos, una posición que ha sido enérgicamente atacada por Millar y Driver (1987), Millar (1989, 1991), Wellington (1988), Jenkins (1989) y Woolnough (1989).

Naturalmente, muchos planes de estudio orientados al proceso siguen fomentando el mismo modelo de ciencia inductivista carente de credibilidad que caracteriza el aprendizaje por descubrimiento. Aunque algunos planes de estudio de ciencias más recientes colocan la práctica de la formulación de hipótesis en el primer lugar de su lista de «procesos», incluso éstos tienden a proyectar una visión distorsionada de la ciencia, una visión estrictamente popperiana que pone demasiado énfasis en el experimento como un modo de tomar decisiones inequívocas sobre la validez o la falsedad de las teorías (Millar 1987, Hodson 1988).

ACTITUDES CIENTÍFICAS

Hace algunos años, Gauld y Hukins (1980) trazaron una distinción fundamental entre «actitudes sobre la ciencia» y «actitudes científicas». La que aquí estamos tratando es precisamente esta última categoría, que puede ser definida como el conjunto de enfoques y actitudes respecto de la información, las ideas y los procedimientos considerados esenciales para los practicantes de la ciencia. No cabe duda de que la inculcación de actitudes científicas es una de las prioridades contempladas por la retórica que desarrolla los planes de estudio sobre ciencias (Fraser 1977, Schibeci 1984). Existe la creencia generalizada, por ejemplo, de que los estudiantes aprecian más las actividades de los científicos si adoptan una postura de objetividad libre de valores y teóricamente exenta de prejuicios, imparcial y una buena disposición para considerar otras ideas y sugerencias evitando emitir juicios apresurados. Por otra parte, son muchos los que

creen que tales cualidades son deseables en sí mismas y extrapolables a otras áreas de interés fuera de la ciencia. Todo esto nos da pie a formular tres preguntas:

1. ¿Pueden estimular estas actitudes las prácticas de laboratorio que ofrecemos en la escuela?
2. ¿Esta imagen de la ciencia animará a los alumnos a escoger carreras de ciencias?
3. ¿Los auténticos científicos poseen estas características?

El esfuerzo por dar «respuestas correctas» y la preocupación por lo que «debería suceder» que caracterizan tantas prácticas de laboratorio en la escuela actúan firmemente contra la posibilidad de responder afirmativamente a la primera pregunta. Es difícil apreciar cómo la manipulación de los datos para asegurar la conformidad con la respuesta dada por el libro —una práctica fomentada por la mayor parte de las actividades prácticas convencionales—, puede ser considerada compatible con el favorecimiento de la «integridad intelectual», «el respeto por los datos» o «la disposición a no apresurarse en la emisión de un juicio».

Es improbable que muchos estudiantes perciban favorablemente el alejamiento de la vida real y la aparente supresión de la individualidad resaltadas por el ideal estereotipado de las actitudes científicas (la imagen proporcionada por el Sr. Spock de la nave Enterprise). Por consiguiente, se hace igualmente improbable contestar afirmativamente a la segunda pregunta. Los jóvenes necesitan ver que los científicos pueden ser afectuosos, sensibles, divertidos y apasionados además de diligentes y persistentes. O, lo que es más importante, necesitan darse cuenta de que las personas que *son* afectuosas, sensibles, divertidas y apasionadas pueden llegar a convertirse en científicos. En cuanto a la tercera pregunta, la respuesta es: «¡Probablemente no!». Hace más de treinta años, Roe (1961) sugirió que los científicos *no* poseen estas características especiales, aunque ellos lo creen. Ellos, asimismo, están conformes con los mitos que existen sobre la imparcialidad desinteresada del científico, o siguen fomentando una falsa imagen porque perciben que forma parte de sus intereses. Los profesores de ciencias también pueden sentir un interés personal en mantener esta imagen como un medio de destacar su posición en la escuela (Gaskell 1992).

Al examinar hasta qué punto los científicos exhiben las características de la imagen estereotipada, Mahoney (1979) declara que éstos suelen trabajar de una manera ilógica, sobre todo cuando defienden su propio punto de vista o atacan a un rival. Afirma que los científicos son muy selectivos a la hora de informar de su trabajo y que en ocasiones llegan a distorsionar o suprimir datos (Holton 1986), y que se aferran tenazmente a sus ideas preferidas aun cuando los datos contradictorios sean abrumadores. Concluye que, lejos de «posponer opiniones», lo que el científico hace a menudo es «hilar la verdad impetuosamente» y apresurarse a elaborar hipótesis y teorías mucho antes de que los datos puedan ofrecer garantías. Mitroff y Mason (1974) distinguen

dos tipos de científico: *científicos extremadamente especulativos* que «no dudarían en construir una teoría completa del sistema solar sin basarse en ningún dato», y *científicos que se basan únicamente en datos* que «no serían capaces de salvar su propio pellejo si se declarase un incendio junto a ellos porque nunca tendrían datos suficientes para probar con seguridad que el fuego es real».

Éstos y otros muchos estudios sociológicos muestran que, contrariamente al estereotipo del libro de texto, cuanto más importante es el científico, más probable es que se crea en el mito del científico desinteresado y no comprometido (Latour y Woolgar 1979, Knorr-Cetina 1983, Lynch 1985, Lynch y Woolgar 1990).

EL PROBLEMA DE LAS INTERFERENCIAS

A los estudiantes se les suele pedir frecuentemente que comprendan la naturaleza del problema y el procedimiento experimental (ninguno de los cuales les son consultados), que adopten la perspectiva teórica relacionada con el tema de estudio (con una ayuda mínima del profesor), que lean, asimilen y sigan las instrucciones del experimento, que manejen el aparato en cuestión, que recopilen los datos obtenidos, que reconozcan la diferencia entre los resultados conseguidos y los resultados que «deberían haberse obtenido», que interpreten tales resultados y escriban un informe del experimento (a menudo utilizando un lenguaje impersonal y curiosamente oscuro), y se les pide además que en todo momento se aseguren de comportarse razonablemente bien con el resto de compañeros. En resumidas cuentas, el trabajo práctico, tal como se lleva a cabo en la actualidad, plantea demasiadas barreras innecesarias que dificultan el aprendizaje (demasiadas *interferencias*).

Esta serie de interferencias hace que los estudiantes a veces sufran una «sobrecarga de información» y sean incapaces de percibir claramente la «señal de aprendizaje». Consecuentemente, es posible que adopten una de estas estrategias (Johnstone y Wham 1982):

- Adoptar un «enfoque de receta», siguiendo simplemente las instrucciones paso a paso.
- Concentrarse en un *único* aspecto del experimento, con la virtual exclusión del resto.
- Mostrar un comportamiento aleatorio que les hace «estar muy ocupados sin tener nada que hacer».
- Mirar a su alrededor para copiar lo que están haciendo los demás.
- Convertirse en «ayudantes» de un grupo organizado y dirigido por otros compañeros.

En muchos casos, los experimentos pueden simplificarse mediante la eliminación de algunos pasos menos importantes y el empleo de aparatos y técnicas más

sencillas. La cuestión del premontaje de aparatos es un tema que merece un amplio tratamiento. Muchos estudiantes se esfuerzan por montar complejos aparatos y sienten que ya han «hecho bastante» antes de que se haya iniciado la parte conceptualmente significativa de la actividad. Lo mismo se puede afirmar sobre la preparación y el pesaje previos de los materiales. Johnstone y Wham (1982) preconizan la «recalibración» de aparatos para reducir el número de unidades de información que deben ser procesadas o el número de medidas que deben ser tomadas. Describen, por ejemplo, cómo un aparato de corriente continua capaz de generar 10 mA/seg puede ser recalibrado para que registre $6,25 \times 10^{16}$ e/seg a fin de simplificar un experimento para determinar el número de Avogadro mediante la electrólisis de ácido diluido. Asimismo, podemos encontrar una ampliación de esta idea en el uso de ordenadores y calculadoras programables para convertir los «datos brutos» en «resultados finales», reduciendo así lo que podríamos denominar *interferencias matemáticas*. En este sentido resulta incluso más eficaz el empleo de ordenadores para capturar, procesar y presentar los datos, así como para la supervisión y el control de experimentos, lo que permitiría llevar a cabo experimentos más complejos y de larga duración.

RECONCEPTUALIZAR EL TRABAJO PRÁCTICO

Muchas de las dificultades discutidas con anterioridad son debidas a la manera irreflexiva en que los diseñadores de planes de estudio y los profesores hacen uso del trabajo práctico. En pocas palabras, es *sobreutilizado* e *infrautilizado*. Es usado en demasía en el sentido de que los profesores emplean las prácticas como algo normal y no como algo extraordinario, con la idea de que servirá de ayuda para alcanzar todos los objetivos de aprendizaje. Es infrautilizado en el sentido de que sólo en contadas ocasiones se explota completamente su auténtico potencial. Por el contrario, gran parte de las prácticas que ofrecemos están mal concebidas, son confusas y carecen de valor educativo real.

El primer paso necesario para planificar un currículo más válido desde el punto de vista filosófico (es decir, aquél que describa fielmente la práctica científica verdadera) y pedagógicamente más eficaz (esto es, aquél que asegure que todos los estudiantes consiguen aprender adecuadamente) es tener claro el propósito de una lección concreta. El segundo paso es escoger una actividad de aprendizaje que se adapte a estos objetivos. Una experiencia de aprendizaje pensada para facilitar el desarrollo conceptual necesitará a buen seguro ser diseñada de forma muy diferente a una cuyo propósito sea ayudar a los estudiantes a comprender aspectos particulares del método científico, o a generar interés por la ciencia, o a aportar información sobre la historia, el desarrollo y el impacto social de una idea, proceso o artefacto. A menudo resulta difícil determinar en la práctica la intención específica contenida en una lección concreta porque los profesores tienden a utilizar el traba-

jo práctico descrito por un manual de laboratorio como parte integral del curso. Este mismo enfoque es el que se emplea para satisfacer una serie de necesidades con un alto índice de fracaso, tal como atestiguan las pruebas aportadas por investigaciones llevadas a cabo en este campo. En mi opinión, los avances deben provenir de la redefinición y la reorientación del concepto de trabajo práctico y de una mejor adaptación de la actividad al objetivo marcado.

En ocasiones, es conveniente considerar que la enseñanza de la ciencia consta de tres aspectos principales:

- *El aprendizaje de la ciencia*, adquiriendo y desarrollando conocimientos teóricos y conceptuales.
- *El aprendizaje sobre la naturaleza de la ciencia*, desarrollando un entendimiento de la naturaleza y los métodos de la ciencia, siendo conscientes de las interacciones complejas entre ciencia y sociedad.
- *La práctica de la ciencia*, desarrollando los conocimientos técnicos sobre la investigación científica y la resolución de problemas.

Se ha asumido con demasiada frecuencia que tales objetivos tan distintos pueden ser cubiertos por el mismo tipo de experiencia de aprendizaje. Dado que la «experimentación» es un elemento fundamental en la ciencia, muchos creen que debería ser igual de esencial para la educación científica. Al asumir este hecho, los profesores y diseñadores de planes de estudio no realizan la distinción crucial entre la práctica de la ciencia y la enseñanza/aprendizaje de la ciencia (Kirschner 1992). Además, existe la suposición general de que el trabajo práctico equivale necesariamente a trabajar sobre un banco de laboratorio y que este tipo de trabajo siempre incluye la experimentación (Hodson 1988). Yo pienso que cualquier método de aprendizaje que exija a los aprendices que sean *activos* en lugar de pasivos concuerda con la idea de que los estudiantes aprenden mejor a través de la experiencia directa, por lo que podría ser descrito como «trabajo práctico». En este sentido, el trabajo práctico no siempre necesita incluir actividades que se desarrollen en el banco de laboratorio. Existen otras alternativas válidas como las actividades interactivas basadas en el uso del ordenador, el trabajo con materiales de análisis de casos, las entrevistas, los debates y la representación de papeles, escribir tareas de diversos tipos, hacer modelos, carteles y álbumes de recortes, investigar en la biblioteca, hacer fotografías y vídeos. Para componer un currículo de ciencias filosóficamente válido y pedagógicamente razonable, es necesario utilizar una gama de métodos de aprendizaje y enseñanza mucho más amplia de la que se ha empleado con regularidad en las asignaturas de ciencias del nivel secundario, y adaptar las experiencias de aprendizaje más cuidadosamente y de forma más específica a los objetivos de las lecciones concretas, siendo totalmente conscientes de las distinciones fundamentales que existen entre el aprendizaje de la ciencia, el aprendizaje sobre la naturaleza de la ciencia y la práctica de la ciencia.

EL APRENDIZAJE DE LA CIENCIA

Si queremos que el objetivo de *aprendizaje de la ciencia* se vea cumplido, necesitamos tener en cuenta los últimos conocimientos aportados por la investigación sobre los conocimientos científicos de los niños, acerca de la adquisición y el desarrollo de conceptos, especialmente los datos que sostienen que el aprendizaje es un proceso activo en el que los estudiantes construyen y reconstruyen su propio entendimiento a la luz de sus experiencias (Osborne y Wittrock 1983 y 1985, Driver y Bell 1986, Shuell 1987). Según Inhelder y Piaget (1958), el estímulo para alcanzar el desarrollo conceptual es reconocer que entre las *ideas* existen contradicciones e incongruencias, y sin embargo los profesores de ciencias concentran su atención en lo concreto, a través de los omnipresentes ejercicios de laboratorio, ofreciendo escasas oportunidades a los estudiantes para poder examinar los conceptos subyacentes. Más a menudo de lo que cabría desear, el profesor es el que proporciona el marco conceptual, y lo hace dejando poco espacio para la construcción del significado *personal*. El profesor es quien ejerce el control sobre la identificación del problema, la generación de hipótesis, el diseño experimental y los métodos para manipular e interpretar los datos obtenidos gracias a la observación, tal y como Zilbersztain y Gilbert (1981) afirman: «La interacción con el profesor es una excusa para que el *profesor* presente su conocimiento» (el énfasis es añadido). Peor aún es el caso en que los profesores son instados frecuentemente a presentar los experimentos sin una base teórica y a distinguir entre «fenómenos observados y explicaciones propuestas por el pensamiento creativo de la mente humana» (Revised Nuffield Chemistry 1975); una idea absurda que ha sido discutida detenidamente (Hodson 1986 a, b).

Un enfoque alternativo implicaría: 1) procurar oportunidades enfocadas a que los estudiantes exploren la capacidad que tienen en un momento concreto de comprender y evaluar la firmeza de sus modelos y teorías para alcanzar los objetivos de la ciencia; y 2) ofrecer estímulos adecuados para el desarrollo y el cambio.

Este enfoque parece constar de cuatro pasos principales:

- Identificar las ideas y los puntos de vista de los niños.
- Diseñar experiencias para explorar tales ideas y puntos de vista.
- Ofrecer estímulos para que los alumnos desarrollen, y posiblemente modifiquen, sus ideas y puntos de vista.
- Apoyar los intentos de los alumnos de volver a pensar y reelaborar sus ideas y puntos de vista.

En el pasado, existía la tendencia a asumir que la mayoría de los niños no tiene *ningún* conocimiento científico antes de empezar a estudiar un nuevo tema o que, cuando lo tiene, no es difícil sustituir su conocimiento (inadecuado) por el nuestro (superior). Ninguna de estas suposiciones parece justificada. Los niños tienen ideas

científicas sobre muchos de los temas que se estudian en la escuela, aunque a menudo están en desacuerdo con las ideas de los científicos y con frecuencia se muestran reacios a renunciar a ellas (Gilbert et al. 1982, Osborne et al. 1983). Si ocurre así, hemos de adoptar una postura diferente sobre cómo enseñar y aprender la ciencia. Debería ser una postura basada en explorar, desarrollar y modificar las ideas de los niños, en lugar de intentar *desplazarlas* o *reemplazarlas*. De igual modo que la investigación científica que lleva al desarrollo o a la sustitución de teorías parte de la matriz teórica existente, también las actividades concebidas para producir el desarrollo conceptual en los aprendices deberían inspirarse en su comprensión. Si aceptamos que el objeto de elaborar teorías científicas es la explicación y la predicción, entonces los niños deberían ser estimulados para explorar sus opiniones poniendo a prueba su capacidad para la explicación y la predicción. Si se demuestra que sus ideas no son adecuadas, se les puede animar a que las cambien o a que produzcan otras nuevas (ora sin ayudarles, ora prestándoles la ayuda necesaria).

MENOS PRÁCTICA Y MÁS REFLEXIÓN

Se puede argumentar que la misma *concreción* de las experiencias de laboratorio contribuye significativamente a las *interferencias* de gran parte del trabajo práctico convencional y sirve para distraer al aprendiz de los conceptos importantes, dificultando más que estimulando la adquisición y el desarrollo de conceptos. Aunque los estudiantes pasan gran parte del tiempo de las clases de laboratorio trabajando con materiales reales (magnesio y azufre, imanes y limaduras de hierro, geranios y jerbos), tienen que discutir e interpretar sus hallazgos y ofrecer explicaciones del comportamiento observado haciendo uso de conceptos abstractos (electrones, enlaces químicos, campos magnéticos, fotosíntesis, etc.). La mayoría de los planes de estudio contemporáneo contemplan esta familiaridad con tales conceptos abstractos como el auténtico objetivo de aprendizaje. A pesar de que el trabajo en el laboratorio es extenso, en el sentido de que ocupa gran parte del tiempo de clase, es a menudo *breve* en referencia al tiempo de contacto que permite mantener con la esencia conceptual del aprendizaje. Es más, muchas veces durante las clases de ciencia que se imparten en la escuela, resulta muy difícil separar los conceptos abstractos fundamentales que estamos buscando de los efectos observables: el movimiento browniano como prueba del movimiento aleatorio de las moléculas, los cambios de color durante la dilución progresiva de una disolución de manganato de potasio (VII) como evidencia de la existencia de partículas, el «comportamiento» de las limaduras de hierro como una prueba de la existencia de líneas de fuerza magnéticas, etc. De modo que, aunque los estudiantes perciben el laboratorio como un lugar donde están activos (en el sentido de «estar haciendo algo»), muchos son incapaces de establecer la conexión entre lo que están haciendo y lo que están aprendiendo (tanto en términos de conocimientos conceptuales como de conocimientos relativos al procedimiento).

Las prácticas de laboratorio que se llevan a cabo en el colegio son consideradas a menudo por los profesores como un medio de obtener información/datos sobre hechos de los que más tarde se extraerán las conclusiones pertinentes. Por lo general, se ha asumido que estos datos son «puros», no están afectados por las ideas que tienen los estudiantes, por lo tanto, éstos no suelen participar ni en el diseño ni en la planificación de investigaciones experimentales. El fracaso a la hora de hacer que los estudiantes participen en la reflexión que *precede* a una investigación experimental convierte gran parte de la práctica de laboratorio siguiente en un trabajo inútil desde el punto de vista pedagógico. Un estudiante que carezca de la comprensión teórica apropiada no sabrá dónde o cómo mirar para efectuar las observaciones adecuadas a la tarea en cuestión, o no sabrá cómo interpretar lo que vea. Por consiguiente, la actividad resultará improductiva, lo cual incitará a los profesores a dar las «respuestas». En la práctica, la situación puede llegar a ser mucho más compleja y bastante más perjudicial. No es que los niños no posean el marco teórico apropiado y necesario, sino que a menudo tienen uno *diferente*. Así pues, es posible que miren en el lugar «equivocado», de la forma «equivocada» y que hagan interpretaciones «equivocadas», en ocasiones incluso negando con vehemencia la evidencia arrojada por la observación que entra en conflicto con sus ideas anteriores al experimento (Gunstone 1991). El resultado es que pueden pasarse toda la lección sin comprender correctamente el objetivo del experimento, el procedimiento y los hallazgos, mezclándolos con cualquier concepto erróneo que hayan aportado a la práctica. Naturalmente, tan pronto como se hace evidente que los marcos alternativos de comprensión de los estudiantes van a acabar por hacerles «terminar en otro punto diferente», los profesores les hacen saber que su «resultado es equivocado», o que «han hecho el experimento mal», lo que inculca en el estudiante una preocupación por lo que «se suponía que debía suceder», más que por su *percepción* de lo que ha sucedido (Wellington 1981).

Mucho se puede decir de otros enfoques alternativos, como las tareas de *predecir-observar-explicar* desarrolladas por Gunstone et al. (1988), en las que se pide a los estudiantes que hagan una predicción por escrito razonando lo que creen que ocurrirá en determinadas situaciones. Durante la demostración siguiente que efectúa el profesor, los estudiantes apuntan lo que observan y a continuación se puede exponer cualquier discrepancia surgida entre las observaciones y su predicción. Tunnicliffe (1989) ha descrito actividades parecidas en una recopilación de estrategias que ella llama «ciencia basada en el desafío».

Las actividades realizadas con ordenador pueden facilitarnos un control aún mayor de los resultados. Hay muchos experimentos que son demasiado difíciles, demasiado caros, consumen demasiado tiempo o son demasiado peligrosos para realizarlos de otra manera. Además, el uso de simulaciones con ordenador, a diferencia de los experimentos directos, permite al profesor adaptar la experiencia de aprendizaje precisamente a los objetivos de enseñanza/aprendizaje, en lugar de lo que es más habitual: adaptar los objetivos de aprendizaje a

las complejidades de la realidad. Se puede disminuir o aumentar el nivel de complejidad, incluir o excluir ciertos aspectos, adoptar condiciones «idealizadas» y crear una situación experimental que permita a los estudiantes concentrarse en los conceptos fundamentales sin las distracciones, las dificultades y el aburrimiento que forman parte de tantos y tantos experimentos realizados con objetos reales. Al eliminar las interferencias de las experiencias concretas y facilitar la retroacción inmediata sobre la conveniencia de especulaciones y predicciones, las simulaciones con ordenador y las bases de datos hacen posible que los estudiantes pasen bastante más tiempo manipulando *ideas* como medio de construir conocimiento. Las actividades basadas en el uso del ordenador pueden resultar a menudo superiores al trabajo de banco convencional a la hora de colaborar en el desarrollo conceptual, dado que permiten a los estudiantes explorar su comprensión teórica y realizar de forma rápida, fiable y segura investigaciones que consideren relevantes para ese conocimiento. El vídeo interactivo y la realidad virtual ofrecen posibilidades aun más interesantes (Ferrington y Loge 1992, Leonard 1992). Estas experiencias de aprendizaje más «controladas» pueden ser empleadas con frecuencia para ayudar a los estudiantes a alcanzar el nivel de comprensión conceptual especificado en el plan de estudios. Después se puede emplear el trabajo de laboratorio de distintos tipos para que los estudiantes puedan comprobar su nuevo entendimiento del «mundo real».

Este argumento a favor de disminuir el trabajo práctico y aumentar las actividades orientadas a la reflexión no debe ser interpretado como una postura que abogue por la sustitución total del trabajo de laboratorio por métodos alternativos de aprendizaje activo. Si convenimos en que la educación en ciencias debe girar en torno a descifrar las claves del mundo físico y comprender (y emplear) los conocimientos conceptuales y de procedimiento que los científicos han desarrollado para su ayuda en esa tarea, el primer paso que se debe dar en la enseñanza de la ciencia es la *familiarización* con ese mundo. En esta etapa, el trabajo de banco resulta esencial. Puede que quizá sea el único modo de experimentar directamente muchos de los fenómenos y los hechos que aborda la ciencia. No basta con *leer* que el magnesio arde formando una brillante llama blanca o que la luz se desvía al pasar por un prisma. Los estudiantes necesitan experimentar estas cosas directamente y manejar los objetos y los organismos por sí mismos para así desarrollar un bagaje de *experiencia personal*. Es lo que Woolnough y Allsop (1985) llaman «acostumbrarse a los fenómenos» y White (1979, 1991) describe cómo desarrollar «conocimiento episódico» o «recopilaciones de eventos». Además, si se estimula el desarrollo y la intensificación conceptuales animando a los estudiantes a que exploren, elaboren y supervisen sus ideas existentes comparándolas con las aportadas por la experiencia —la experiencia «real» y la experiencia artificial del experimento científico—, entonces podemos afirmar que el trabajo de laboratorio y las investigaciones en el terreno tienen un importante papel que desempeñar, pero sólo cuando tales actividades tengan una base teórica y sean bien entendidas por el estudiante.

EL APRENDIZAJE SOBRE LA NATURALEZA DE LA CIENCIA

Parece razonable suponer que la comprensión que un estudiante tiene sobre la naturaleza de la ciencia y la actividad científica proviene de la interacción de las experiencias que facilita el plan de estudios con las experiencias de aprendizaje informales que incluyen televisión, películas, libros, publicidad, visitas a museos, etc. En términos generales, las influencias del *currículo* son de dos tipos: las que son planificadas explícitamente y las que no. En ocasiones, los libros de texto presentan mensajes explícitos sobre la naturaleza de la ciencia (por ejemplo, los primeros capítulos que ofrecen una idea general de lo que es la ciencia). Otras veces, los profesores actúan para poner énfasis en aspectos concretos del método científico durante el trabajo de laboratorio y las discusiones de clase. No obstante, es más frecuente que los mensajes sobre la naturaleza de la ciencia sean transmitidos *implícitamente*, a través del lenguaje de la instrucción, el material biográfico y el diseño de experiencias de aprendizaje —sobre todo el trabajo de laboratorio y las tareas escritas—. En conjunto, tales mensajes integran un plan de estudios de ciencias «oculto» de gran potencialidad (Herron 1977).

Para asegurar que los estudiantes tengan éxito en *el aprendizaje sobre la naturaleza de la ciencia*, el primer paso necesario es convertir lo implícito en *explícito*. El aprendizaje sobre la naturaleza de la ciencia es una parte clave del programa de estudios, por lo que hemos de programar tal objetivo con sumo cuidado. El segundo paso necesario es que efectuemos dicha planificación conforme a un modelo científico que sea *válido filosóficamente*: no uno basado en el inductivismo, ni el que contemple la ciencia como una serie algorítmica de procesos discretos, ni el basado en estrictos puntos de vista popperianos, sino un modelo de ciencia que, como mínimo, reconozca la falibilidad y la dependencia teórica de la observación y del experimento, que aporte conciencia de cómo se transmiten los conocimientos dentro de la comunidad científica, que admita que la ciencia está influida por consideraciones socioeconómicas, culturales, políticas, éticas y morales, y que haga hincapié en la distinción entre teorías realistas —cuyo objetivo es explicar— y modelos instrumentalistas —que persiguen realizar predicciones y establecer una medida de control— (Hodson 1993b).

Si permitimos que los estudiantes lleven a cabo sus propias investigaciones (véase más adelante), contribuiremos en gran medida a desarrollar su comprensión de la naturaleza de la ciencia. Asimismo, podemos obtener un gran beneficio si invitamos a los estudiantes a que reflexionen sobre el progreso de aprendizaje personal que hayan experimentado. Por ejemplo, cuando los estudiantes vuelven a examinar y a interpretar las actividades de laboratorio realizadas en la primera parte del curso, son capaces de trazar paralelos significativos entre el desarrollo de su comprensión personal y el desarrollo del conocimiento científico. Es de destacar que algunos sostienen que este tipo de actividades metacognitivas resultan especialmente beneficiosas para los estudiantes (Novak 1990).

Sin embargo, «acostumbrarse a la práctica científica» implica algo más que ser conscientes de la naturaleza de la observación y de la experimentación; incluye comprender cómo se valora la investigación científica y se informa de ella. Para alcanzar este nivel de comprensión, debemos utilizar una amplia gama de otras experiencias de aprendizaje activas —por ejemplo, el empleo de estudios de casos históricos, simulaciones y reconstrucciones dramáticas, representar papeles y hacer debates, llevar a cabo actividades con el ordenador y experimentos que impliquen reflexión.

La utilización de simulaciones con ordenador es una técnica especialmente eficaz que permite a los estudiantes implicarse en los aspectos de la ciencia más creativos que facilitan la comprensión de la naturaleza de la práctica científica. En la mayoría de las lecciones que se imparten en el laboratorio, a los estudiantes no se les ofrece la posibilidad de participar en la elaboración de hipótesis ni en el diseño experimental, debido a que los profesores son reacios a dedicar el tiempo necesario; no quieren hacerse cargo del coste que se derivaría o no quieren correr el riesgo de que los estudiantes adopten estrategias experimentales inadecuadas, ineficaces o potencialmente peligrosas. En consecuencia, los profesores tienden a diseñar todos los experimentos generalmente antes de la lección, y los estudiantes se limitan a seguir sus instrucciones. Las simulaciones de ordenador permiten mejorar los diseños mediocres y que los estudiantes descubran cualquier problema y lo modifiquen o eliminen rápidamente y de manera segura. De este modo, los estudiantes aprenden de sus errores y se les enseña a investigar más exhaustivamente y con más reflexión. Y lo que es más importante, descubren que diseñar experimentos no es una labor difícil ni especializada que realizan expertos de bata blanca en laboratorios sofisticados. Cualquiera puede hacerlo, incluso ellos mismos. Los experimentos que se llevan a cabo en clase son presentados demasiado a menudo como el *único* modo de proceder. En cambio, las simulaciones de ordenador hacen posible que distintos grupos de estudiantes propongan diferentes procedimientos, algunos de los cuales funcionarán mejor, otros peor y otros no funcionarán en absoluto. Esta situación se parece más a cómo es la ciencia auténtica. Este tipo de experiencias incluye como mínimo tres objetivos de aprendizaje: 1) los estudiantes aprenden mucho más sobre los fenómenos investigados y los conceptos que pueden aplicarse para explicarlos, porque cuentan con más tiempo y pueden manejar estos conceptos; 2) adquieren algunas de las técnicas que los científicos creativos emplean para idear y planificar estrategias; 3) aprenden que el funcionamiento de la ciencia se basa en pensar, adivinar e intentar cosas que unas veces dan buen resultado y otras no. Poniendo en práctica estas actividades se consigue desmitificar la ciencia y hacerla más accesible a cualquiera.

LA PRÁCTICA DE LA CIENCIA

En este apartado no se hace hincapié en aprender los métodos de la ciencia ni en desarrollar la destreza necesaria para utilizar técnicas de laboratorio determinadas, sino en emplear los métodos y procedimientos científicos

para investigar fenómenos, resolver problemas y seguir intereses concretos.

Claro está que si pretendemos que los estudiantes practiquen la ciencia con algún sentido, necesitamos un modelo de ciencia filosóficamente válido. A efectos de que el alumno *aprenda sobre la naturaleza de la ciencia*, es posible que se obtenga alguna ventaja si consideramos que la ciencia abarca cuatro elementos principales:

1. Una fase de diseño y planificación durante la cuál se hacen preguntas, se formulan hipótesis, se idean procedimientos experimentales y se seleccionan técnicas.
2. Una fase de realización en la que se ponen en práctica varias operaciones y se recogen datos.
3. Una fase de reflexión en la que se examinan e interpretan los hallazgos experimentales desde distintas perspectivas teóricas.
4. Una fase de registro y elaboración de un informe en la que se registran el procedimiento y su razón fundamental, así como los distintos hallazgos conseguidos, las interpretaciones y las conclusiones extraídas para uso personal o para comunicarlas a otros.

Al igual que este análisis resulta útil cuando se trata del *aprendizaje sobre la naturaleza de la ciencia*, también puede ser erróneo si de lo que se trata es de la *práctica de la ciencia*. Estas fases de actividad que acabamos de describir no aparecen completamente separadas. En realidad, la práctica de la ciencia es una actividad poco metódica e imprevisible que exige a cada científico inventar su propio modo de actuar. En este sentido, se puede afirmar que *no* hay método. Al enfrentarse con una situación particular, los científicos escogen un «método» que creen apropiado para la tarea que van a realizar, haciendo una selección de los procesos y los procedimientos a partir de los que están disponibles y son aceptados por la comunidad de los expertos. Y lo que es más importante, cuando la comunidad valora una investigación científica, uno de los criterios de juicio que emplea es analizar los métodos utilizados. ¿Fueron bien escogidos? ¿Se pusieron en práctica satisfactoriamente?

Por otra parte, los científicos refinan su manera de enfocar un problema, desarrollan una comprensión mayor del mismo y crean procedimientos de actuación más apropiados y productivos todo al mismo tiempo, *simultáneamente*. Tan pronto como se desarrolla una idea, es sometida a evaluación (por observación, experimentos, comparación con otras teorías, etc.). Algunas veces, esa evaluación lleva a nuevas ideas, a otros experimentos diferentes, o incluso a una refundición completa de la idea original o a la reformulación del problema. Así, casi todos los movimientos que un científico realiza durante una investigación *modifican* la situación de algún modo, haciendo que las decisiones posteriores se tomen dentro de un contexto alterado. Por lo tanto, la ciencia puede ser descrita como una actividad fluida y holística, y no como el seguimiento de una serie de reglas que requieren comportamientos específicos en etapas específicas. Es

una actividad orgánica, dinámica e interactiva, una constante interacción de pensamiento y acción.

Además, al hacer sus selecciones y al llevar a cabo sus estrategias escogidas, los científicos utilizan un tipo adicional de conocimiento –a menudo pobremente articulado o incluso aplicado a conciencia– que sólo puede ser adquirido con *la práctica de la ciencia* y que constituye la esencia del saber hacer del científico creativo. Este conocimiento combina la comprensión conceptual con elementos de creatividad, una aptitud especial para los experimentos (el equivalente científico de «tener mano para las plantas» de un jardinero) y un complejo de atributos afectivos que facilitan el ímpetu necesario de determinación y compromiso. Con la experiencia, se convierte en lo que Polanyi (1958) y Oakeshott (1962) llaman *maestría*. En la práctica, los científicos proceden en parte mediante la racionalización (basada en su comprensión teórica) y en parte usando la intuición arraigada en su conocimiento tácito de cómo hacer ciencia (su *maestría*).

Dado que las maneras de trabajar de los científicos no son fijas ni predecibles y puesto que implican de modo muy personal un componente que depende de la experiencia, no pueden ser enseñadas directamente. Es decir, no se puede aprender a practicar la ciencia aprendiéndose una receta o una serie de procesos que puedan ser aplicables en todas las situaciones. El único modo eficaz de aprender a hacer ciencia es *practicando la ciencia* junto a un experto diestro y experimentado que pueda aportar su ayuda, crítica y consejo sobre la práctica. Al participar en una investigación, los científicos aumentan su comprensión de lo que constituye hacer ciencia y su capacidad de llevarla a la práctica con éxito. En otras palabras, *practicar la ciencia* es una actividad reflexiva: el conocimiento y la habilidad que se tienen en un momento concreto determinan la dirección de la investigación y, al mismo tiempo, el echo de intervenir en una investigación (y lo que es decisivo, reflexionar sobre ella) hace que nuestro conocimiento mejore y que nuestra pericia relativa al procedimiento se perfeccione. De este modo, la investigación científica abarca lo que Cheung y Taylor (1991) denominan una «dobte espiral de conocimiento». Ahora bien, si los científicos mejoran sus conocimientos profesionales a través de la práctica, es razonable suponer que los estudiantes aprenderán a hacer ciencia (de una manera *más eficaz*) practicando la ciencia: al principio serán investigaciones sencillas, escogidas tal vez de una lista comprobada de investigaciones que hayan dado resultados positivos previamente, diseñadas y desarrolladas por el profesor, pero investigaciones completas al fin y al cabo. Hay algunos datos que apuntan a que puede ser más productivo empezar por los «problemas de tipo ingeniería» (cuyo objetivo es optimizar resultados deseados o interesantes) y luego hacer una transición a los «problemas de tipo científico» (cuyo objetivo es identificar y comprender las relaciones causales entre variables), porque, tal como argumentan los autores, los primeros se adaptan mucho mejor a las estrategias intuitivas que los niños emplean para resolver problemas y su habitual forma de pensar. En cambio, Lock (1987) y Fensham (1990) han abogado por la utilización de problemas tipo consumidor como una

manera de iniciar a los estudiantes en investigaciones personales. Con el tiempo, pueden actuar independientemente, escogiendo sus propios temas y enfrentándose a ellos a su manera. Así, experimentan el proceso completo, desde la identificación inicial del problema a la evaluación final, incluyendo «la emoción del éxito y la angustia que provoca la planificación inadecuada o las decisiones erróneas» (Brusic 1992). Con estas actividades, el alumno se acerca lo máximo a lo que es hacer *auténtica ciencia*.

Así como *el aprendizaje de la ciencia y el aprendizaje sobre la naturaleza de la ciencia* no siempre tienen que incluir el trabajo de banco, *la práctica de la ciencia* también puede a veces emplear otros enfoques. Por ejemplo, la consulta de bases de datos informáticas permite a los estudiantes explorar ideas, hacer predicciones, especular sobre relaciones, confrontarlas con los «hechos» de forma rápida y fiable sin las restricciones de las hojas de trabajo y las indicaciones del profesor, y sin la interferencia que provoca el trabajo de banco. Estos métodos hacen posible que los alumnos investiguen detalladamente sus propias preguntas acerca de una gran variedad de temas sin las limitaciones que imponen las instalaciones de laboratorio inadecuadas, las destrezas prácticas poco desarrolladas, la falta de tiempo, la carencia de materiales o las consideraciones sobre seguridad personal.

Aunque el trabajo de banco no está presente en estas actividades, sí que son un fiel reflejo de lo que significa *la práctica de la ciencia*. Al utilizar el ordenador como una herramienta para encontrar respuesta a sus propias preguntas, los estudiantes desarrollan auténticas técnicas de investigación y de resolución de problemas. Se deben analizar las situaciones que plantean problemas, formular preguntas y planificar investigaciones. Gracias a este tipo de actividades, los estudiantes aprenden a identificar aquellos problemas que son importantes, que vale la pena investigar y que son susceptibles de una investigación sistemática. Al mismo tiempo, aprenden que no todas las preguntas y problemas tienen una única solución o una respuesta correcta, y que muchas «soluciones» son provisionales y necesitan ser mejoradas con una investigación posterior. En otras palabras, la práctica de la ciencia a menudo genera tantas preguntas como respuestas puede ofrecer.

Es de destacar, asimismo, que la investigación científica no siempre es *experimental*. Muchas investigaciones implican la búsqueda de correlaciones y la búsqueda sistemática de la causa y el efecto, a las que les puede seguir la elaboración de teorías que proporcionen una explicación. Los sistemas informáticos de administración de datos son de gran utilidad a la hora de facilitar y permitir la consulta, la manipulación y la presentación sofisticadas de datos esenciales para estudios correlacionales.

SEPARADAS PERO RELACIONADAS. NECESARIAS PERO NO SUFICIENTES

Aunque haya resultado útil para el objetivo de este artículo considerar *el aprendizaje de la ciencia, el apren-*

dizaje sobre la naturaleza de la ciencia y la práctica de la ciencia como actividades separadas, es importante admitir su interrelación. En cierto sentido, forman tres orientaciones distintas sobre la misma actividad constructivista, reflexiva e interactiva.

Paradójicamente, es la propia idiosincrásica y personalización de la investigación científica (*la práctica de la ciencia*) la que proporciona al estudiante el estímulo para reconocer y comprender su interrelación. La práctica de la ciencia da lugar a tres tipos de aprendizaje: primero, la comprensión conceptual intensificada de cualquier tema estudiado o investigado; segundo, el aumento del conocimiento relativo al procedimiento: aprender más acerca de las relaciones entre la observación, el experimento y la teoría (naturalmente, siempre y cuando se cuente con el tiempo suficiente para la reflexión); tercero, el aumento de la habilidad investigadora que puede llegar a convertirse en maestría. De este modo, la práctica de la ciencia *incorpora* las otras actividades, el aprendizaje de la ciencia y el aprendizaje sobre naturaleza de la ciencia. Sin embargo, debido a la naturaleza idiosincrásica de la investigación científica y la gama altamente especializada pero necesariamente limitada de cuestiones conceptuales que intervienen en cualquier investigación concreta, la práctica de la ciencia resulta insuficiente para producir el gran desarrollo conceptual que un plan de estudios de ciencia requiere. No se puede aprender *suficiente* ciencia limitando las actividades a la práctica de la ciencia. Requiere demasiado tiempo y es demasiado incierta. Además, ¡en absoluto necesitan todos los temas un enfoque basado en la práctica de la ciencia! Y tampoco se puede aprender lo suficiente sobre la naturaleza de la ciencia si restringimos las actividades a su práctica. Los estudiantes deben descubrir que la práctica científica es una actividad compleja construida socialmente. Esta conciencia no puede ser creada únicamente a base de dirigir investigaciones personales sobre temas de interés para uno mismo. Igualmente, la limitación del plan de estudios a las actividades abarcadas por el aprendizaje de la ciencia y el aprendizaje sobre la naturaleza de la ciencia no puede dotar a los estudiantes para que practiquen la ciencia por sí mismos. Aunque necesarios, el conocimiento conceptual y el conocimiento sobre los procedimientos que pueden adoptar los científicos, y que han adoptado en circunstancias particulares en el pasado, son insuficien-

tes para hacer posible que un estudiante participe con éxito en la investigación científica. Tal habilidad sólo es desarrollada a través de la experiencia. En otras palabras, la práctica de la ciencia es el único medio de aprender a hacer ciencia y de experimentar la ciencia como un acto de investigación.

En resumen, podemos decir que los tres aspectos son necesarios y que la experiencia obtenida con buenos resultados en cada uno de ellos contribuye a la comprensión de los restantes, pero ninguno es suficiente por sí solo.

NOTAS

* Ponencia presentada al IV Congreso Internacional sobre Investigación en la Didáctica de las Ciencias y de las Matemáticas, celebrado en Barcelona los días 13 al 16 de septiembre de 1993. Ha sido traducida del inglés y revisada por Ó. Barberá.

1. Nota del autor: En la primera parte de este artículo, los términos «trabajo de laboratorio» (expresión utilizada frecuentemente en Norteamérica), «trabajo práctico» (más habitual en Europa y Australasia) y «experimentos» son empleados prácticamente como sinónimos. En un sentido amplio, esto refleja el uso más frecuente de estas expresiones. No obstante, debo decir que he empleado una estratagema premeditada con el fin de ilustrar la confusión que puede suscitarse en el debate sobre planes de estudio de ciencias si no se admite que no todo el «trabajo práctico» se realiza en un laboratorio, y que no todo el «trabajo de laboratorio» es experimental (Hodson 1988). Más adelante, he empleado las distinciones entre trabajo práctico (métodos de aprendizaje activos) y trabajo de laboratorio, y entre los diferentes tipos de trabajo de laboratorio, para reconceptualizar el aprendizaje activo de las ciencias.

2. Nota del revisor: El lector podrá encontrar una magnífica exposición de los orígenes del término *mesmérico* en el capítulo 12 del libro de Stephen Jay Gould (1991) *Brontosaurus y la nalga del ministro* (Crítica: Barcelona, 1993), expresión de notoria actualidad debido a las patrañas comerciales acerca de los objetos magnetizados y la salud, y que el autor del artículo la utiliza en sentido figurado en su acepción de hipnotizador.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

APU, 1982. *Science in Schools, Age 15*, Report No. 1. (DES: Londres).

APU, 1985. *Science at Age 15*, Science Report for Teachers No. 5 (DES: Londres).

APU, 1989. *Science in Schools, Age 13*, Review Report (DES: Londres).

ATKINSON, P. y DELAMONT, S., 1976. Mock-ups and cock-ups: the stage management of guided discovery instruction,

INVESTIGACIÓN Y EXPERIENCIAS DIDÁCTICAS

- en Hammersley, M. y Woods, P. (eds.), *The Process of Schooling: A Sociological Reader*. (Routledge & Kegan Paul: Londres).
- BLISS, J., 1990. Students' reactions to undergraduate science: laboratory and project work, en Hegarty-Hazel, E. (ed.), *The Student Laboratory and the Science Curriculum*. (Routledge: Londres).
- BRUSIC, S.A., 1992. Achieving STS goals through experiential learning, *Theory into Practice*, 31, pp. 44-51.
- BUCHAN, A.S. y JENKINS, E.W., 1992. The internal assessment of practical skills in science in England and Wales, 1960-1991, some issues in historical perspective, *International Journal of Science Education*, 14, pp. 367-380.
- CAWTHRON, E.R. y ROWELL, J.A., 1978. Epistemology and science education, *Studies in Science Education*, 5, pp. 31-59.
- CHEUNG, K.C. y TAYLOR, R., 1991. Towards a humanistic constructivist model of science learning - changing perspectives and research implications, *Journal of Curriculum Studies*, 23, pp. 21-40.
- DRIVER, R., 1975. The name of the game, *School Science Review*, 56, pp. 800-305.
- DRIVER, R. y BELL, B., 1986. Students' thinking and the learning of science: a constructivist view, *School Science Review*, 67, pp. 443-456.
- EBENEZER, J.V. y ZOLLER, U., 1993. Grade 10 students' perceptions of and attitudes toward science teaching and school science, *Journal of Research in Science Teaching*, 30, pp. 175-186.
- FENSHAM, P.J., 1990. Practical work and the laboratory in Science for All, en Hegarty-Hazel E. (ed.), *The Student Laboratory and the Science Curriculum*. (Routledge: Londres).
- FERRINGTON, G. y LOGE, K., 1992. Virtual reality: a new learning environment, *The Computing Teacher*, 19, pp. 16-19.
- FRASER, B.J., 1977. Selection and validation of attitude scales for curriculum evaluation, *Science Education*, 61, pp. 317-330.
- GARDNER, P. y GAULD, C., 1990. Labwork and students' attitudes, en Hegarty-Hazel, E. (ed.), *The Student Laboratory and the Science Curriculum*. (Routledge: Londres).
- GASKELL, P.J., 1992. Authentic science and school science, *International Journal of Science Education*, 14, pp. 265-272.
- GAULD, C.F. y HUKINS, A.A., 1980. Scientific attitudes: a review, *Studies in Science Education*, 7, pp. 129-161.
- GILBERT, J.K., OSBORNE, R.J. y FENSHAM, P.J., 1982. Children's science and its consequences for teaching, *Science Education*, 66, pp. 623-633.
- GUNSTONE, R.F., 1991. Reconstructing theory from practical experience, en Woolinough, B.E. (ed.), *Practical Science*. (Open University Press: Milton Keynes).
- GUNSTONE, R.F. y CHAMPAGNE, A.B., 1990. Promoting conceptual change in the laboratory, en Hegarty-Hazel, E. (ed.), *The Student Laboratory and the Science Curriculum*. (Routledge: Londres).
- GUNSTONE, R.F., MITCHELL, I.J. y THE MONASH CHILDREN'S SCIENCE GROUP, 1988. Two teaching strategies for considering children's science, ICASE Yearbook No. 2, *What Research Says to the Science Teacher*, pp. 1-12.
- HARRIS, D. y TAYLOR, M., 1983. Discovery learning in school science: the myth and the reality, *Journal of Curriculum Studies*, 16, pp. 277-289.
- HARTY, H., KLOOSTERMAN, T. y MATKIN, J., 1989. Science hands on teaching-learning activities of elementary school teachers, *School Science & Mathematics*, 89, pp. 456-467.
- HEAD, J., 1982. What can psychology contribute to science education?, *School Science Review*, 63, pp. 631-642.
- HERRON, M.D., 1977. Implicit curriculum - where values are really taught, *The Science Teacher*, 44, pp. 30-31.
- HODSON, D., 1986a. The nature of scientific observation, *School Science Review*, 68, pp. 17-29.
- HODSON, D., 1986b. Rethinking the role and status of observation in science education, *Journal of Curriculum Studies*, 18, pp. 381-396.
- HODSON, D., 1988. Experiments in science and science teaching, *Educational Philosophy & Theory*, 20, pp. 53-66.
- HODSON, D., 1990. A critical look at practical work in school science, *School Science Review*, 70, pp. 33-40.
- HODSON, D., 1993a. Philosophic stance of secondary school science teachers, curriculum experiences and children's understanding of science, *Interchange* (en prensa).
- HODSON, D., 1993b. Teaching and learning about science: considerations in the philosophy and sociology of science, en Edwards, D. y Scanlon, E. (eds.), *Issues in Science Education: Teaching, Learning and Assessment* (en prensa).
- HOFSTEIN, A. y LUNETTA, V.N., 1982. The role of the laboratory in science teaching: neglected aspects of research, *Review of Educational Research*, 52, pp. 201-217.
- HOLTON, G., 1986. *The Advancement of Science and its Burdens*. (Cambridge University Press: Cambridge).
- INHELDER, B. y PIAGET, J., 1958. *The Growth of Logical Thinking*. (Routledge & Kegan Paul: Londres).
- JENKINS, E.W., 1989. Processes in science education: an historical perspective, en Wellington, J.J. (ed.), *Skills and Processes in Science Education*. (Routledge: Londres).
- JOHNSTONE, A.H. y WHAM, A.J.B., 1982. The demands of practical work, *Education in Chemistry*, 19, pp. 71-73.
- KELLY, A., 1988. The customer is always right - girls' and boys' reactions to science lessons, *School Science Review*, 69, pp. 662-676.
- KEYS, W., 1987. *Aspects of Science Education*. (NFER-Nelson: Windsor).
- KIRSCHNER, P.A., 1992. Epistemology, practical work and academic skills in science education, *Science & Education*, 1, pp. 273-299.

INVESTIGACIÓN Y EXPERIENCIAS DIDÁCTICAS

- KIRSCHNER, P.A. y MEESTER, M.A.M., 1988. The laboratory in higher science education: problems, premises and objectives, *Higher Education*, 19, pp. 81-98.
- KLOPFER, L.E., 1990. Learning scientific enquiry in the student laboratory, en Hegarty-Hazel, E. (ed.), *The Student Laboratory and the Science Curriculum*. (Routledge: Londres).
- KNORR-CETINA, K.D., 1983. The ethnographic study of scientific work: towards a constructivist interpretation of science, en Knorr-Cetina, K.D. y Mulkay, M. (eds.), *Science Observed*. (Sage: Londres).
- KYLE, W.C., BONSTEYER, R.J., McCLOSKEY, J. y FULTS, B.A., 1985. Science through discovery: students love it, *Science & Children*, 23, pp. 39-41.
- LATOUR, B. y WOOLGAR, S., 1979. *Laboratory Life: The Social Construction of Scientific Facts*. (Sage: Londres).
- LEONARD, W.H., 1992. A comparison of student performance following instruction by interactive videodisc versus conventional laboratory, *Journal of Research in Science Teaching*, 29, pp. 93-102.
- LOCK, R., 1987. Practical work, en Lock, R. y Foster, D. (eds.), *Teaching Science*, pp. 11-13. (Croom Helm: Londres).
- LOCK, R., 1992. Gender and practical skill performance in science, *Journal of Research in Science Teaching*, 29, pp. 227-241.
- LYNCH, M., 1985. *Art and Artifact in Laboratory Science*. (Routledge: Londres).
- LYNCH, M. y WOOLGAR, S., 1990. *Representation in Scientific Practice*. (MIT Press: Cambridge, MA).
- LYNCH, P.P., 1987. Laboratory work in schools and universities: structures and strategies still largely unexplored, *Australian Science Teachers Journal*, 32, pp. 31-39.
- LYNCH, P.P. y NDYETABURA, V.L., 1984. Students' attitudes to school practical work in Tasmanian schools, *Australian Science Teachers Journal*, 29, pp. 25-29.
- MAHONEY, M.J., 1979. Psychology of the scientist, *Social Studies of Science*, 9, pp. 349-375.
- MEICHTRY, Y.J., 1992. Using laboratory experiences to develop the scientific literacy of middle school students, *School Science & Mathematics*, 92, pp. 437-441.
- MILLAR, R., 1987. Towards a role for experiment in the science teaching laboratory, *Studies in Science Education*, 14, pp. 109-118.
- MILLAR, R., 1989. What is scientific method and can it be taught?, en Wellington, J.J. (ed.), *Skills and Processes in Science Education*. (Routledge: Londres).
- MILLAR, R., 1991. A means to an end: the role of processes in science education, en Woolnough, B.E. (ed.), *Practical Science*. (Open University Press: Milton Keynes).
- MILLAR, R. y DRIVER, R., 1987. Beyond processes, *Studies in Science Education*, 14, pp. 33-62.
- MITROFF, I.I. y MASON, R.O., 1974. On evaluating the scientific contribution of the Apollo missions via information theory: a study of the scientist-scientist relationship, *Management Science: Applications*, 20, pp. 1501-1513.
- MOREIRA, M.A., 1980. A non-traditional approach to the evaluation of laboratory instruction in general physics courses, *European Journal of Science Education*, 2, pp. 441-448.
- MURPHY, P., 1991. Gender differences in pupils' reactions to practical work, en Woolnough, B.E. (ed.), *Practical Science*. (Open University Press: Milton Keynes).
- NADEAU, R. y DESAUTELS, J., 1984. *Epistemology and the Teaching of Science*. (Science Council of Canadá: Ottawa).
- NEWMAN, B., 1985. Realistic expectations for traditional laboratory work, *Research in Science Education*, 15, pp. 8-12.
- NERSESSLAN, N.J., 1989. Conceptual change in science and in science education, *Synthese*, 80, pp. 163-183.
- NOVAK, J.D., 1990. The interplay of theory and methodology en Hegarty-Hazel, E. (ed.), *The Student Laboratory and the Science Curriculum*. (Routledge: Londres).
- OAKESHOTT, M., 1962. Rational conduct, en *Rationalism and Other Essays*. (Methuen: Londres).
- OSBORNE, R., BELL, B. y GILBERT, J., 1983. Science teaching and children's views of the world, *European Journal of Science Education*, 5, pp. 1-14.
- OSBORNE, R.J. y WITTROCK, M.C., 1983. Learning science: a generative process, *Science Education*, 67, pp. 489-508.
- OSBORNE, R. y WITTROCK, M., 1985. The generative learning model and its implications for science education, *Studies in Science Education*, 12, pp. 69-87.
- PIZZINI, E.L., SHEPARDSON, D.P. y ABELL, S.K., 1991. The inquiry level of junior high activities: implications to science teaching, *Journal of Research in Science Teaching*, 28, pp. 111-121.
- POLANYI, M., 1958. *Personal Knowledge*. (Routledge & Kegan Paul: Londres).
- REVISED NUFFIELD CHEMISTRY, 1975. *Teachers' Guide II*. (Longman Londres).
- ROE, A., 1961. The psychology of the scientist, *Science*, 9, pp. 349-375.
- SELLEY, N.J., 1989. Philosophies of science and their relation to scientific processes and the science curriculum, en Wellington, J.J. (ed.), *Skills and Processes in Science Education*. (Routledge: Londres).
- SCHAUBLE, L., KLOPFER, L.E. y RAGHAVAN, K., 1991. Students' transition from an engineering model to a scientific model of experimentation, *Journal of Research in Science Teaching*, 28, pp. 859-882.
- SCHIBECI, R.A., 1984. Attitudes to science: an update, *Studies in Science Education*, 11, pp. 26-59.
- SHUELL, T., 1987. Cognitive psychology and conceptual change: implications for teaching science, *Science Education*, 71, pp. 239-240.
- SMOLICZ, J.J. y NUNAN, E.E., 1975. The philosophical and sociological foundations of science education: the

- demythologizing of school science, *Studies in Science Education*, 2, pp. 101-143.
- STEVENS, P., 1978. On the Nuffield philosophy of science, *Journal of Philosophy of Education*, 12, pp. 99-111.
- STRIKE, K.A., 1975. The logic of learning by discovery, *Review of Educational Research*, 45, pp. 461-483
- TABER, K.S., 1992. Girls' interactions with teachers in mixed physics classes: results of classroom observation, *International Journal of Science Education*, 14, pp. 163-180.
- TOBIN, K., 1988. Differential engagement of males and females in high school sciences, *International Journal of Science Education*, 10, pp. 239-252.
- TOBIN, K., 1990. Research on science laboratory activities: in pursuit of better questions and answers to improve learning, *School Science & Mathematics*, 90, pp. 403-418.
- TOOTHACKER, W.S., 1983. A critical look at undergraduate laboratory instruction, *American Journal of Physics*, 51, pp. 516-520.
- TUNNICLIFFE, S.D., 1989. Challenge based science, en Honeyman, B.N. (ed.) *Science Education and the Quality of Life*, 1989 ICASE Yearbook, Australian Science Teachers Association/International Council of Associations for Science Education.
- WARING, M., 1985. To make the mind strong rather than to make it full: elementary school science teaching 1870-1904, en Goodson, I.F. (ed.), *Social Histories of the Secondary Curriculum*. (Falmer Press: Lewes).
- WATTS, M. y EBBUTT, D., 1988. Sighthformers' views of their science education, 11-16, *International Journal of Science Education*, 10, pp. 211-219.
- WELLINGTON, J.J., 1981. What's supposed to happen, Sir?, *School Science Review*, 63, pp. 167-173.
- WELLINGTON, J.J., 1988. The place of process in physics education, *Physics Education*, 23, pp. 150-155.
- WELLINGTON, J.J., 1989. Skills and processes in science education: an introduction, en Wellington, J.J. (ed.), *Skills and Processes in Science Education*. (Routledge: Londres).
- WHITE, R.T., 1991. Episodes and the purpose and conduct of practical work, en Woolnough, B.E. (ed.), *Practical Science*. (Open University Press: Milton Keynes).
- WOOLNOUGH, B.E., 1989. Towards a holistic view of processes in science education, en Wellington, J.J. (ed.), *Skills and Processes in Science Education*. (Routledge: Londres).
- WOOLNOUGH, B. y ALLSOP, T., 1985. *Practical Work in Science*. (Cambridge University Press: Cambridge).
- YAGER, R.E., ENGLER, H.B. y SNIDER, B.C.F., 1969. Effects of laboratory and demonstration methods upon the outcomes of instruction in secondary biology, *Journal of Research in Science Teaching*, 6, pp. 76-86.
- ZILBERSZTAIN, A. y GILBERT, J., 1981. Does practice in the laboratory fit the spirit?, *Australian Science Teachers Journal*, 27, pp. 39-44.