

E S T U D I O S

EL FUTURO DE LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS: ALGUNAS IMPLICACIONES DE LA INVESTIGACION EDUCATIVA

DANIEL GIL PEREZ (*)

INTRODUCCION

La preocupación por la adecuación de la enseñanza de las ciencias a las necesidades de un próximo futuro es hoy general en los países desarrollados y está dando lugar a numerosos encuentros internacionales como, por citar un ejemplo, el realizado en diciembre de 1983 en Venecia, patrocinado por el Ministerio de la Instrucción Pública Italiano (ver reseña en *Enseñanza de las Ciencias*, 1984, volumen 2, página 224).

Esta atención es, por supuesto, índice de las carencias e inadaptaciones existentes en la situación actual. De hecho, las propuestas avanzadas se han de asentar, para ser eficaces, sobre cuidadosas evaluaciones y revisiones históricas. En caso contrario se corre el riesgo de que las innovaciones ensayadas con la mejor voluntad se traduzcan en agitación confusa sin avances efectivos, como ha ocurrido, p. e., en los EEUU desde la conmoción provocada por el lanzamiento del primer sputnik en 1957 hasta mediados de los 70. Conviene, pues, tener en cuenta los resultados, en algunos aspectos muy negativos (Ausubel, 1978), de innovaciones bien intencionadas pero escasamente fundamentadas y evitar su repetición, con el consiguiente retraso, en nuestro país. Afortunadamente, en los mismos EEUU se ha producido una inflexión en este proceso, y la política de impulso a la innovación ha dejado paso al desarrollo de investigaciones que intentan evaluar el resultado de los esfuerzos realizados, analizar las dificultades encontradas y sus causas y, en definitiva, fundamentar más rigurosamente una acción educativa que se ha mostrado en muchos sentidos ineficaz. Como señalan Yager y Penick (1983): «nunca se había dado un esfuerzo semejante por conocer la situación de la enseñanza de las ciencias.»

El objeto de este trabajo es, precisamente, presentar algunas de las implicaciones de la investigación educativa de mayor interés —desde nuestro punto de vista— para una reorientación de la enseñanza de las ciencias.

(*) ICE de la Universidad autónoma de Barcelona.

1. ¿LAS CIENCIAS COMO COMPONENTE ESENCIAL DE UNAS NUEVAS HUMANIDADES?

En 1926, Paul Langevin, en el curso de una conferencia sobre «El valor educativo de la Historia de las Ciencias», afirmaba (Langevin, 1933): «En reconocimiento del papel jugado por la ciencia en la liberación de los espíritus y en la afirmación de los Derechos del Hombre, el movimiento revolucionario hace un esfuerzo considerable para introducir la enseñanza de las ciencias en la cultura general y conformar esas humanidades modernas que aún no hemos logrado establecer.» Estas frases pueden ser un ejemplo paradigmático de una visión profundamente optimista de la capacidad educativa de las ciencias que era compartida, en general, por todo el movimiento renovador que podemos designar como Escuela Moderna.

Más de medio siglo después, nos encontramos hoy con un evidente aumento del peso de las ciencias en el curriculum de formación básica y media. Sin embargo, la actitud hacia la ciencia lograda mediante dicha enseñanza está muy lejos de las optimistas y aparentemente fundadas previsiones. La gravedad del problema es tal, que el estudio de las actitudes e intereses de los alumnos se ha convertido en una línea prioritaria de investigación (Gauld y Hukins, 1980) (Schibeci, 1984).

Conviene detenerse mínimamente en lo que muestran estas investigaciones. En primer lugar cabe resaltar que el interés por las ciencias decrece notoria y regularmente a lo largo del período de escolarización (James y Smith, 1985). Existen, por supuesto, diversas hipótesis explicativas de este hecho. Cabe suponer que este es el resultado del tipo de enseñanza impartida. Pero puede así mismo pensarse que ello sea el resultado de la dificultad creciente de los estudios a realizar en los cursos superiores. De hecho la revisión realizada por Schibeci (1984) no pone en evidencia correlaciones consistentes entre actitudes y variables como el curriculum o la forma de trabajo en clase, lo que parece, en principio, excusar al sistema educativo y orientar las explicaciones a la interacción ciencias/características de los alumnos. Esta impresión se ve reforzada por los numerosos estudios que muestran una actitud hacia las ciencias notablemente más negativa en las alumnas, apareciendo esta actitud negativa más marcada hacia las ciencias físicas que hacia las biológicas y aumentando las diferencias entre los sexos con la edad (Erikson y Erikson, 1984).

Un reciente y cuidadoso estudio experimental realizado en el Reino Unido ha podido mostrar, sin embargo, hasta qué punto la Escuela es responsable de esta diferencia (Spear, 1984). El estudio consistió en proponer la corrección de un cierto número de ejercicios a 306 profesores de Enseñanza Media con objeto de que evaluaran toda una serie de aspectos (nivel, precisión científica, aptitud para la ciencia,...). Cada ejercicio fue presentado al 50 por 100 de los profesores como realizado por un alumno y al otro 50 por 100 como obra de una alumna. Los resultados muestran claramente que los mismos ejercicios eran calificados más altos cuando eran atribuidos a chicos y que los profesores valoraban más positivamente la capacidad de los «varones» para proseguir estudios científicos.

Estos resultados llevan lógicamente a preguntarse si las diferencias entre chicos y chicas no serán debidas en gran medida a los juicios y expectativas mantenidos por el profesorado que refuerzan idénticas presiones del medio social.

Cabe también preguntarse si la Escuela no será igualmente responsable, al menos en parte, de la disminución general del interés hacia las ciencias a lo largo de la escolaridad. Nuevos estudios son aquí necesarios, pero es bien conocido el efecto que unas expectativas positivas o negativas del profesorado tienen sobre los alumnos (Rosenthal y Jacobson, 1968).

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

Es preciso concluir así que varios años de progresiva implantación de los estudios científicos no han contribuido a conformar esas «Humanidades Modernas» que reclamaba Langevin.

Puede quizá pensarse que ello es el resultado de una opción necesaria —habida cuenta del insuficiente tiempo disponible— que antepone, a los aspectos culturales, el desarrollo utilitarista de las aptitudes científicas que la sociedad precisa de, al menos, amplias minorías.

2. EL DESARROLLO DE APTITUDES CIENTÍFICAS COMO OBJETIVO FUNDAMENTAL

El objetivo fundamental que ha presidido la innovación en la enseñanza de las ciencias durante cerca de tres décadas ha sido, sin duda, la introducción de los métodos de la ciencia, intentando superar una enseñanza tradicionalmente centrada en los contenidos y caracterizada por la ausencia casi total de trabajos experimentales (Dewey, 1945).

Se produce así una proliferación de Proyectos basados en el aprendizaje por descubrimiento y en la actividad autónoma de los alumnos.

Sin embargo, las propuestas sobre la aplicación del «Método Científico» o sobre la «Enseñanza por descubrimiento» resultan demasiado ambiguas e imprecisas (Keislar y Shulman, 1966), incurriendo en visiones simplistas, muy alejadas de la forma en que realmente se elaboran los conocimientos científicos (Rachelson, 1977) (Gil, 1983), y persistiendo entre el profesorado de ciencias una

visión marcada por un empirismo extremo (Giordan, 1978) que olvida tanto el papel central que las hipótesis y todo el pensamiento divergente ocupan en el trabajo científico (Hempel, 1976), como el carácter social y dirigido de dicho trabajo (en contraste con la orientación que supone la propuesta de «descubrimiento autónomo», individual).

Por último se produce una falta de atención a los contenidos, como respuesta a la situación precedente de predominio casi exclusivo de los mismos y coherentemente con el planteamiento inductivo que se pretende dar al aprendizaje.

Los resultados de más de dos décadas de aplicación de esta orientación quedan reflejados en estas palabras de Ausubel (1978): «Como los términos laboratorio y método científico se volvieron sacrosantos en las preparatorias y universidades norteamericanas, los estudiantes fueron obligados a remedar los aspectos exteriormente conspicuos e inherentemente triviales del método científico (...). En realidad con este procedimiento aprendieron poco de la materia y menos aún del método científico.» Y no se trata, en modo alguno, de una exageración: si nos limitamos al objetivo fundamental de favorecer la adquisición de aptitudes científicas, una detenida evaluación de la enseñanza de las ciencias impartidas en EEUU durante el período 1955-1980 llega a la conclusión de que «la mayoría de los cursos no incluyen un sólo experimento en que los estudiantes puedan identificar y definir un problema, proponer procedimientos, recoger e interpretar resultados o tomar alguna decisión» (Yager y Penick, 1983).

La situación es similar e incluso más grave en lo que se refiere a la resolución de problemas, el otro campo que, junto a los trabajos prácticos, es concebido como ocasión privilegiada para la adquisición y desarrollo de las aptitudes científicas. Como se ha mostrado repetidamente, los alumnos no aprenden a resolver problemas, sino que, a lo sumo, memorizan soluciones explicadas por el profesor como simples ejercicios de aplicación: los alumnos se limitan a «reconocer» problemas que ya han sido resueltos o a abandonar. La gravedad de la situación ha convertido desde hace años la investigación sobre *problem-solving* en una de las prioridades en el campo de la didáctica de las ciencias (Yager y Kahle 1982). Estas investigaciones muestran hasta qué punto la propia didáctica de la resolución utilizada por el profesorado se aleja de las características del trabajo científico, convirtiendo los problemas —es decir, las situaciones para las que no existe de entrada una solución evidente— en ejercicios que el profesor resuelve de forma lineal, sin dudas ni ensayos sobre lo que se busca o el camino a seguir y, a menudo, sin siquiera contrastación e interpretación de resultados (Gil y Martínez-Torregrosa, 1984).

De ningún modo puede, pues, decirse que la enseñanza de las ciencias haya avanzado significativamente en la introducción de los procesos científicos ni favorecido la adquisición de la metodología científica por los alumnos. No pueden aceptarse a este respecto la mayor parte de las propuestas que se autodenominan «aprendizaje por descubrimiento» y que habría que designar, para mayor precisión y evitar confusiones, como «aprendizaje por descubrimiento inductivo, autónomo e incidental» (Gil, 1983).

En resumen: si la enseñanza de las ciencias no ha logrado —como hemos visto en el primer apartado de este trabajo— favorecer una actitud positiva hacia las ciencias y convertirse en elemento esencial de unas Nuevas Humanidades,

tampoco ha hecho posible la adquisición por los alumnos de aptitudes científicas. Quizá estos resultados muestren que los objetivos de la enseñanza han de ser más modestos y centrarse en la transmisión de conocimientos para favorecer, al menos, su adquisición significativa, no anecdótica ni memorística.

3. ERRORES CONCEPTUALES Y PRECONCEPTOS: NUEVA CRISIS EN LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS

Los trabajos centrados en el estudio de ciertos errores conceptuales constituyen, posiblemente, la línea de investigación más pujante en la actualidad en el campo de la didáctica de las ciencias. El impacto de estudios como la tesis doctoral de L. Viennot (1976) ha estado asociado a la puesta en evidencia de que los alumnos poseen ya ideas —preconceptos— acerca de numerosos temas, previamente a recibir enseñanza escolar sobre los mismos, que presentan una notable resistencia a ser substituidos por las explicaciones científicas proporcionadas por el profesorado. La persistencia de estos preconceptos, incluso en niveles universitarios, se ha convertido así en un índice particularmente relevante de la ineficacia de la enseñanza de las ciencias en lo que se refiere a la adquisición significativa de conocimientos. La sorpresa de ver cómo estudiantes universitarios, después de estudiar reiteradamente la mecánica newtoniana, siguen considerando a las fuerzas como causa del movimiento, ha supuesto un serio aldamonazo. El estudio de los preconceptos, su origen, causas de su persistencia, etcétera, se ha convertido así, repetimos, en una línea de investigación prioritaria (McDermont, 1984) (Driver y Erikson, 1983) (Osborne y Wittrock, 1983) (Giordan, 1985).

Debemos precisar que estos «errores» no constituyen simples distracciones fácilmente subsanables con una llamada de atención, como algún autor ha pretendido (McClelland, 1984). Por el contrario, afectan a conceptos clave y son sostenidos con la seguridad que procuran las evidencias de sentido común. Más aún: como hemos tratado de mostrar (Carrascosa y Gil, 1985), la existencia de preconceptos está íntimamente ligada a una «metodología de la superficialidad» que conduce a dar respuestas «seguras» y rápidas a partir de generalizaciones acríticas de observaciones cualitativas. Esta metodología de la superficialidad, de lo aparente —que se traduce en certeza, en ausencia de dudas o de consideración de posibles soluciones alternativas—, responde, como ha mostrado Piaget (1971), a las formas de reflexión y actuación cotidianas del niño, que la Escuela, lejos de combatir, estimula con la habitual exigencia de respuestas rápidas, con exámenes que sólo dejan tiempo para reproducir mecánicamente lo transmitido por el profesor, o con los tratamientos faltos de rigor que imponen al propio profesor curricula inabordables.

De este modo se completa la visión de lo que constituye hoy la enseñanza de las ciencias. El panorama que dibujan los resultados de las investigaciones didácticas que hemos resumido es, sin duda, preocupante y pone en cuestión la visión ingenuamente optimista del papel educativo de la enseñanza de las ciencias. Pero al mismo tiempo, las críticas realizadas encierran elementos de reorientación que pueden dar lugar —están dando ya lugar— a indudables progresos y a la recuperación de un cierto optimismo sobre el futuro de la enseñanza de las ciencias.

4. EL FUTURO DE LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS: ALGUNAS IMPLICACIONES POSITIVAS DE LA INVESTIGACION EDUCATIVA

Posiblemente la primera implicación positiva de las investigaciones sobre didáctica de las ciencias sea el haber mostrado la existencia de graves problemas, previamente ignorados, como el relativo a la existencia de preconceptos extraordinariamente resistentes a la acción educativa habitual.

Más importante aún está siendo la comprensión creciente de que las propuestas innovadoras han de desembocar en investigación, es decir, en una actividad que se inserte en el desarrollo de cuerpos coherentes de conocimientos, de verdaderos paradigmas teóricos (Peterson, 1979) (Gil, 1983), sin lo cual no puede hablarse de tarea científica y se corre el riesgo de perderse en adquisiciones dispersas. Cabe así esperar que el futuro de la enseñanza de las ciencias esté menos sujeto a los vaivenes e infructuosos desarrollos que han caracterizado estas últimas décadas.

Podemos además avanzar ya algunos resultados de la investigación didáctica con implicaciones positivas para la reorientación de la enseñanza. Nos referiremos ahora, brevemente, a algunos de ellos.

4.1. *El aprendizaje de las ciencias como cambio conceptual y metodológico*

Las investigaciones a que hemos hecho referencia (ver apartado 3) sobre la existencia de preconceptos y su resistencia a ser desplazados por los conocimientos científicos, han dado origen a modelos de aprendizaje que coinciden en rechazar la idea de transmisión de conocimientos a alumnos considerados como *tábula rasa*, característica de la enseñanza tradicional y cuyos resultados negativos han sido puestos en evidencia. Podemos referirnos así al trabajo de Osborne y Wittrock (1983), al modelo constructivista de Driver (1984) y, muy particularmente, al modelo de aprendizaje como cambio conceptual (Posner, Strike, Hewson y Gertzog, 1982).

En nuestra opinión (Gil, 1983), la importancia de los esquemas conceptuales de los alumnos y la necesidad de orientar el aprendizaje como cambio conceptual, apunta a la existencia de un cierto isomorfismo entre el aprendizaje significativo de los conocimientos científicos y el proceso de producción de los mismos. Basta recordar a este respecto la importancia de los paradigmas teóricos como origen y término del trabajo científico en un proceso complejo que incluye eventuales rupturas —cambios revolucionarios— del paradigma vigente en un determinado dominio (Khun, 1971). De hecho, los trabajos de epistemología genética de Piaget (1970) han mostrado la semejanza entre la evolución histórica de la Física y la formación de las concepciones intuitivas de los alumnos.

Pueden entenderse así, desde este punto de vista, las dificultades de un cambio conceptual equivalente a lo que históricamente ha supuesto una revolución científica. Más aún, este isomorfismo permite comprender que no baste con tener en cuenta las preconcepciones de los alumnos para producir el cambio conceptual, sino que éste exigiría también un cambio metodológico en la forma de abordar los problemas (Gil y Carrascosa, 1985).

En otras palabras: la principal dificultad para una correcta adquisición de conocimientos científicos no reside en la existencia de preconceptos o esquemas

conceptuales «alternativos», sino en la metodología que está en su origen. Si los alumnos tienen una visión del comportamiento mecánico de la materia similar al paradigma aristotélico-escolástico, no es por casualidad, sino el resultado de idénticas causas. Y no debe olvidarse que las concepciones aristotélicas sólo fueron desplazadas —después de siglos de vigencia— gracias a un cambio metodológico nada fácil, que vino a superar la tendencia «natural» a generalizar acríticamente a partir de observaciones cualitativas y no controladas, abandonando la seguridad de las evidencias del sentido común y pasando a un pensamiento creativo, abierto, que imagina más posibilidades, a título de hipótesis, para someterlas después a contrastación rigurosa.

Cabe, pues, esperar que igual ocurra con los alumnos: sólo si son puestos reiteradamente en situación de aplicar la nueva metodología —es decir, en situación de plantear problemas precisos, de emitir hipótesis a la luz de sus conocimientos previos, de diseñar experimentos, de analizar cuidadosamente los resultados,...— llegarán a superar la «metodología de la superficialidad», haciendo posible los profundos cambios conceptuales que la adquisición de los conocimientos científicos exige.

Se comprende así la necesidad de un serio esfuerzo para introducir la metodología científica en clase, incluso si el objetivo perseguido es únicamente la adquisición significativa de conocimientos. Una metodología científica que tiene poco en común, como ya hemos señalado, con los planteamientos inductivistas que han caracterizado al denominado aprendizaje por descubrimiento (inductivo, autónomo e incidental). En este sentido hemos realizado algunos intentos que van desde la transformación de los trabajos prácticos (Gené y Gil, 1982) (Gil y Payá, 1984) o la resolución de problemas (Gil y Martínez-Torregrosa, 1983), a la misma introducción de conceptos (Gil, 1982). Y aunque se precisan períodos relativamente largos para poder concluir sobre la validez de las orientaciones adoptadas (¡los cambios metodológicos *no* son en absoluto fáciles!), los resultados hasta aquí obtenidos (Carrascosa y Gil 1985 b) (Gené y Gil, 1985) (Gil y Martínez-Torregrosa, 1985) son muy positivos y refuerzan nuestra creencia de que la mejora en el aprendizaje de las ciencias precisa estrategias de enseñanza que tomen en consideración los conocimientos y hábitos previos de los alumnos y se orienten hacia la producción de cambios conceptuales y metodológicos.

Llamamos la atención sobre el hecho de que la adquisición significativa de conocimientos y la familiarización con la metodología científica aparecen, según esto, íntimamente ligadas. Así pues, la prioridad casi exclusiva que la enseñanza tradicional pone en los contenidos, o que el aprendizaje por descubrimiento inductivo pone en los procesos científicos, no permite ni siquiera alcanzar los objetivos parciales que se marcan. En efecto, como hemos visto, sin cambio metodológico no puede haber cambio conceptual, adquisición significativa de conocimientos. Y, por otra parte, los procesos científicos sólo tienen sentido en el marco de esquemas conceptuales (o paradigmas teóricos) como punto de partida y término. Sin atención a los contenidos, la metodología científica queda falseada, no es tal.

Con la orientación que hemos intentado fundamentar, el aprendizaje de las ciencias puede, pensamos, mejorar sensiblemente. Y así parecen mostrarlo los re-

sultados que se están obteniendo. Pero sigue en pie la cuestión esencial de cómo favorecer una actitud positiva hacia la ciencia y su aprendizaje.

4.2. Las ciencias y su aprendizaje como aventura

La falta de interés por las ciencias es un hecho bien establecido, sobre cuya extensión y gravedad (Schibeci, 1984) ya hemos hecho referencia como punto de partida de este trabajo. Una falta de interés y una actitud negativa crecientes, que no se han visto alterados con los intentos de transformación del curriculum en el sentido de romper la estructura disciplinar y ofrecer unas ciencias integradas en torno a lo que se han considerado posibles «centros de interés» de los alumnos.

Es preciso detenerse aquí en el análisis de lo que suponen las propuestas de enseñanza integrada de las ciencias, presentadas a menudo como forma de conectar con los intereses de los alumnos. Son bien conocidos los argumentos utilizados —aparentemente razonables y, sin duda, sugestivos— según los cuales la «Realidad es Una» las asignaturas vienen a romper artificialmente dicha unidad, a compartimentarla. Pero en nuestra opinión se trata de argumentos incorrectos —cuando se pretende utilizarlos más allá de los niveles iniciales de enseñanza— que ignoran la naturaleza misma de la metodología científica. Porque el abordaje científico de la realidad ha de ser necesariamente analítico, preciso, y las diferentes ciencias —a las que corresponden las distintas disciplinas escolares— tienen una coherencia interna, una estructura que define las necesarias relaciones entre los conceptos (Host, 1978), que una enseñanza integrada falsea.

Cada ciencia, cada cuerpo teórico de conocimientos, supone un nivel de aproximación a la realidad que sin duda es una, pero una unidad estructurada en niveles de organización dotados de leyes propias en cada nivel. Ciertamente es, por ejemplo, que todas las substancias están constituidas por átomos y que las leyes físicas son omnipresentes; pero no basta con ellas para comprender el mundo de los seres vivos, que es un nivel más complejo, con leyes propias. Esconder esto, colocar al mismo nivel un abordaje físico, químico, biológico,... de la realidad, mediante un tratamiento simultáneo de los diferentes aspectos, conduce a una visión confusa, empobrecida y equívoca de esta realidad.

Sin duda, es necesaria una mayor conexión entre las diversas disciplinas, entre las diversas formas de abordar la realidad, y mostrar que, en la medida misma que las diferentes ciencias se desarrollan y profundizan, emerge la unidad de toda la materia. Pero ello no debe conducir a una visión magmática, inevitablemente confusa y superficial, que puede tener interés como aproximación inicial, pero con la que es preciso romper. Lo contrario, insistimos, es proporcionar una visión falsa, amén de provocar una actitud de superficialidad que está en las antípodas de la actividad científica. Dicho de otro modo, la enseñanza integrada de las ciencias no puede sino estimular la «metodología de la superficialidad» y oponerse al cambio conceptual y metodológico, sin el cual, como hemos tratado de mostrar, no hay aprendizaje significativo ni familiarización con la metodología científica.

Por otra parte, las propuestas de ciencia integrada aparecen habitualmente solidarias de la idea de «centros de interés» —relacionados con la vida cotidiana, etcétera— y reflexiones sobre el escaso interés que para los alumnos puede

tener el estudio de materias «abstractas y puramente formales» como Mecánica, Calor, etcétera. La crítica puede considerarse justa si se refiere a la forma en que la enseñanza habitual presenta estas materias. Pero ¿cómo aceptar que el nacimiento de, p. e., la Mecánica, sea una materia abstracta, puramente formal? Basta asomarse a la historia de esta ciencia, leer a Galileo, para darse cuenta del carácter de verdadera aventura —en la que no han faltado ni persecuciones ni condenas—, de lucha apasionada y apasionante por la libertad de pensamiento, etcétera, que el desarrollo de las ciencias ha tenido. La cuestión está, precisamente, en recuperar estos aspectos históricos, de interacción ciencia/sociedad, y romper con una tradición empeñada (con éxito) en convertir la enseñanza de las ciencias en pura transmisión dogmática de conocimientos.

La potencialidad motivadora de un aprendizaje de las ciencias así orientado es muy elevada (Holton *et al.*, 1982) y contribuye, además, a dar una visión más real, contextualizada, de lo que es el desarrollo científico. Se puede así, por otra parte, salir al paso de un creciente rechazo de la actividad científica. Un rechazo que confunde la ciencia con las consecuencias más negativas del desarrollo social y político (destrucción del medio, carrera armamentista,...).

La discusión del papel social de la ciencia, del mito de la neutralidad del científico, etcétera, pueden contribuir a devolver al aprendizaje de las ciencias la vitalidad que el propio desarrollo científico tiene. Pero el aprendizaje de las ciencias puede y debe ser también una aventura en un sentido más profundo: la aventura que supone enfrentarse a problemas abiertos, la búsqueda de soluciones, la constatación de que las propias ideas tienen la validez (¡y los errores!) de las de los científicos, etcétera. El problema del interés por las ciencias se encuentra así con el de las formas de enseñanza. Estamos convencidos —aunque sea mucho lo que hay que investigar todavía en este campo— de que un aprendizaje concebido como actividad abierta, creativa, con las características propias del trabajo científico, puede despertar un interés real y profundo por la ciencia.

Estas son, en nuestra opinión, algunas vías para abordar el grave problema de una actitud hacia la ciencia y su aprendizaje marcada por el desinterés, cuando no por el rechazo. En cierto sentido podría decirse que se trata de desarrollar un modelo de aprendizaje concebido como actividad abierta, como investigación dirigida, y orientado a producir un cambio no sólo conceptual y metodológico, sino también, y sobre todo, «actitudinal».

5. A MODO DE CONCLUSION: EL PAPEL DEL PROFESOR

Hemos dejado para último lugar la consideración de un factor esencial en la renovación de la enseñanza: el de la formación del profesorado. Toda la literatura sobre el tema coincide en mostrar el papel determinante de la actividad y actitud del profesor.

Ya hemos hecho referencia al trabajo de Rosenthal y Jacobson (1968) que, junto a muchos otros, muestra hasta qué punto las simples expectativas positivas del profesor sobre unos alumnos se traducen —a través de la atención y ayuda que ellō genera— en una sensible y objetiva mejora de los resultados de los alumnos. También es conocido el llamado efecto Hawthorn, consistente en que los resultados de grupos experimentales en los que se ensaya alguna innovación,

son significativamente mejores que los de grupos de control. Esto es contemplado a menudo como una causa de error sistemático en las investigaciones (Hayman, 1981), pero es también —y en nuestra opinión, ante todo— un índice del efecto positivo que tiene sobre el aprendizaje el interés del profesor implicado (y el de los mismos alumnos si conocen que están participando en una investigación).

Pero no basta con constatar que las clases de profesores motivados e interesados por su materia y por los alumnos funcionan mejor. La cuestión clave es cómo generar esa motivación, dado que la falta de profesores con la cualificación y la motivación necesarias sigue siendo la tónica en cualquier materia (Ashman, 1985). Por ello los estudios sobre actitudes de los alumnos ante la ciencia tienden cada vez más a completarse con estudios sobre la actitud de los profesores. La consideración del mencionado efecto Hawthorn ofrece ya elementos de respuesta: la participación del profesor en tareas de investigación se traduce sistemáticamente en un mayor interés por su trabajo y consiguientemente en mejores resultados. Dicho de otro modo: la transformación de la labor docente en actividad que tenga, en una cierta media, las características del trabajo científico, puede conferir al trabajo del profesor un interés fácilmente explicable, permitiéndole romper con un aislamiento que le hace dependiente del libro de texto y le condena a la simple transmisión verbal.

Referirse al carácter de investigación científica que puede adquirir la labor del profesor no es, pensamos, exageración alguna: no se trata simplemente de adoptar una actitud favorable a la participación de los alumnos, sino de todo un trabajo colectivo de cuidadosa preparación de *actividades concretas* que tengan en cuenta las ideas previas de los alumnos, los aspectos esenciales de la metodología científica, la coherencia del hilo conductor, etcétera. Ello constituye lo que hemos denominado un *programa-guía de actividades* (Gil, 1982). Sin esta preparación se olvidan con facilidad aspectos esenciales del aprendizaje y domina inevitablemente la improvisación del profesor, es decir, su propia actividad.

Como vemos, una posible vía de solución al problema de la falta de motivación de muchos profesores es similar a la que se contempla para los propios alumnos: implicación en tareas abiertas, de investigación. Y cabe pensar que igualmente serán válidas para el profesorado las restantes propuestas hechas para los alumnos: consideración del desarrollo histórico de la ciencia, con su indudable dramatismo, discusión del papel social de la ciencia, etcétera. Estos son aspectos que, junto con la iniciación a la investigación didáctica, deberían contemplarse —cosa que hoy no sucede— en la formación del profesorado.

Es preciso, además, tener presente que, cuando se plantea la formación didáctica de un futuro profesor, no se parte nunca de cero, sino que ya ha recibido una larga preparación didáctica implícita, «ambiental», durante los años en que fue alumno. Una preparación que le impregnó, a menudo en forma de hábitos inconscientes, y con la que será necesario romper. La formación del profesorado se plantea así —al igual que la de los alumnos— como cambio metodológico, actitudinal y didáctico (Carrascosa, Furió y Gil, 1985).

Los distintos aspectos del proceso enseñanza/aprendizaje de las ciencias que hemos ido abordando parecen reforzarse mutuamente y configurar un paradigma coherente, con características similares al propio proceso de producción de

conocimientos científicos (Gil, 1983). Esta es, por supuesto, nuestra particular visión, que consideramos fundamentada, pero que sería abusivo presentar como una orientación mayoritariamente aceptada. Afortunadamente, quizá, en la enseñanza de las ciencias casi todo está aún por decir.

REFERENCIAS

- Ashman, A.: «Teaching Chemistry -1944 and all that». *Education in Chemistry*, 22 (3), págs. 38, 39 y 42, 1985.
- Ausubel, D. P.: *Psicología Educativa. Un punto de vista cognoscitivo*. (Trillas: México), 1978.
- Carrascosa, J. y Gil, D.: «La 'metodología de la superficialitat' i l'aprenentatge de les ciències». *Ensenanza de las Ciencias*, vol. 3, págs. 113-120, 1985.
- Carrascosa, J. y Gil, D.: «El aprendizaje de las ciencias como cambio conceptual y metodológico: primeros resultados». *Enseñanza de las Ciencias*, número extra, pág. 64, 1985 b.
- Carrascosa, J.; Furió, C., y Gil, D.: «Formation du professorat des Sciences et changement methodologique». *VII^{mes} Journées Internationales sur l'enseignement Scientifique* (en prensa), 1985.
- Dewey, J.: «Methods in Science Teaching». *Science Education*, 29, págs. 119-123, 1945.
- Driver, R.: «Cognitive Psychology and Pupils' Frameworks in Mechanics». *The many Faces of Teaching and Learning Mechanics*, proceedings of 1984 GIREP Conference on Physics Education, Utrecht, págs. 171-198, 1985.
- Driver, R. y Erikson, G.: «Theories into action: some theoretical and empirical issues in the study of students' conceptual frameworks in science». *Studies in Science Education*, vol. 10, págs. 37-70, 1983
- Erikson, G. y Erikson, L.: «Females and science achievement: evidence, explanations and Implications». *Science Education*, vol. 68, págs. 63-89, 1984.
- Gauld, C. F. y Hukins, A. A.: «Scientific attitudes: a review». *Studies in Science Education*, 7, págs. 129-161, 1980.
- Gene, A. y Gil, D.: «Enseñanza de las Ciencias Naturales por descubrimiento». *Cuadernos de Pedagogía*, 94, págs. 64-66, 1982.
- Gene, A. y Gil, D.: «Un ensayo de transformación de los trabajos prácticos de Biología. Resultados obtenidos con profesores en formación». *Enseñanza de las Ciencias*, número extra, pág. 34, 1985.
- Gil, D.: *La investigación en el aula de Física y Química*. (Anaya: Madrid), 1982.
- Gil, D.: «Tres paradigmas básicos en la enseñanza de las ciencias». *Enseñanza de las Ciencias*, vol. 1, págs. 26-33, 1983.
- Gil, D. y Carrascosa, J.: «Science learning as a conceptual and methodological change». *European Journal of Science Education*, vol. 7, núm. 3, págs. 231-236, 1985.
- Gil, D. y Martínez-Torregrosa, J.: «A model for problem solving in accordance with scientific methodology». *European Journal of Science Education*, vol. 5, págs. 447-455, 1983.
- Gil, D. y Martínez-Torregrosa, J.: «Problem-Solving in Physics: a critical analysis». *Research on Physics Education*. (Editions du CNRS: Paris), 1984.
- Gil, D.; Martínez-Torregrosa, J., y Senent, F.: «La resolución de problemas de Física como investigación: resultados experimentales obtenidos con alumnos de Enseñanza Media». *Enseñanza de las Ciencias*, vol. 3, número extra, pág. 49, 1985.
- Gil, D. y Payá, J.: «Los trabajos prácticos de Física y Química y la Metodología Científica». XX Reunión Bienal de la Real Sociedad Española de Química. Castellón, 1984.
- Giordan, A.: «Interés didáctico de los errores de los alumnos». *Enseñanza de las Ciencias*, vol. 3, páginas 11-17, 1985.
- Hayman, J. L.: *Investigación en Educación*. (Paidós: Buenos Aires), 1981.

- Hempel, C. G.: *Filosofía de la Ciencia natural*. (Alianza: Madrid), 1976.
- Holton, G.; Rutherford, F. J., y Watson, F. G.: *Project Physics*, (Holt-Rinehart-Winston: New York), 1982.
- Host, V.: «Procédures d'apprentissage spontanées dans la formation du scientifique». *Revue Française de Pédagogie*, 45, págs. 103-110, 1978.
- James, R. K. y Smith, S.: «Alienation of students from science in grades 4-12». *Science Education*, 69, págs. 39-45, 1985.
- Keislar, E. R. y Shulman, L. S.: *Learning by discovery: a critical appraisal*, (Rand McNally: Chicago), 1966.
- Kuhn, Th. S.: *La estructura de las revoluciones científicas*, (Fondo de Cultura Económica: México), 1971.
- Langevin, P.: «La valeur éducative de l'histoire des sciences». *Bulletin de la Société Française de Pédagogie*, 22, diciembre, 1926.
- McDermont, L. C.: «Critical Review of Research in the Domain of Mechanics». *Research on Physics Education*, (Editions du CNRS: Paris), 1984.
- McClelland, J. A. C.: «Alternative frameworks: interpretation of evidence». *European Journal of Science Education*, vol. 6, págs. 1-6, 1984.
- Osborne, R. y Wittrock, M.: «Learning Science: a generative process». *Science Education*, 67, págs. 490-508, 1983.
- Peterson, R. W.: «The impact of paradigm-based research on classroom practice». *Journal of Research in Science Teaching*, 16, pág. 523, 1979.
- Piaget, J.: *La epistemología genética. II*. (Redondo: Barcelona), 1970.
- Piaget, J.: *Psicología y Epistemología*. (Ariel: Barcelona), 1971.
- Posner, G. J.; Strike, K. A.; Hewson, P. W., y Gertzog, W. A.: «Accommodation of a scientific conception: towards a theory of conceptual change». *Science Education*, 66, págs. 211-227, 1982.
- Rachelson, S.: «A question of balance: a wholistic view of scientific inquiry». *Science Education*, 61, páginas 109-117, 1977.
- Rigden, J. S.: «Why do we obstruct knowledge of science?». *American Journal of Physics*, 53, pág. 205, 1985.
- Rosenthal, R. y Jacobson, L.: *Pigmalion in the classroom*. (Rinehart and winston: N. Y.), 1968.
- Schibeci, R. A.: «Attitudes to science: an update». *Studies in Science Education*, vol. 11, págs. 26-59, 1984.
- Spear, M. G.: «Sex bias in science teachers' ratings of work and pupils characteristics». *European Journal of Science Education*, vol. 6, págs. 369-377, 1984.
- Viennot, L.: *Le Raisonnement Spontané en Dynamique Élémentaire*. Tesis Doctoral. Université Paris 7. (Publicada en 1979 por Herman: Paris), 1976.
- Yager, R. E. y Khale, J. B.: «Priorities for needed policies and research in science education». *Journal of Research in Science Teaching*, 17, págs. 523-530, 1982.
- Yager, R. E. y Penick, J. E.: «Analysis of the current problems with school science in the USA». *European Journal of Science Education*, vol. 5, págs. 463-459, 1983.