

Capítulo 2

¿Qué visiones de la ciencia y la actividad científica tenemos y transmitimos?

La superación de las visiones deformadas de la ciencia y la tecnología: Un requisito esencial para la renovación de la educación científica

Isabel Fernández, Daniel Gil Pérez, Pablo Valdés y Amparo Vilches

ALGUNAS CUESTIONES QUE SE ABORDAN EN ESTE CAPÍTULO

- ¿Cuáles pueden ser las concepciones erróneas sobre la actividad científica a las que la enseñanza de las ciencias debería prestar atención, evitando su transmisión explícita o implícita?
- ¿Qué aspectos deberían incorporarse al currículo para evitar visiones distorsionadas y empobrecidas de la actividad científica, que dificultan el aprendizaje y generan actitudes negativas?
- ¿Qué cambio radical en el proceso de enseñanza/aprendizaje de las ciencias implica dicha incorporación? ¿Qué dificultades puede conllevar dicho cambio?

EXPRESIONES CLAVE

Aprendizaje como investigación orientada; características de la actividad científica y/o tecnológica; naturaleza de la ciencia y la tecnología; relaciones ciencia-tecnología-sociedad-ambiente (CTSA); visiones deformadas de la ciencia y la tecnología.

INTRODUCCIÓN

En el capítulo anterior hemos estudiado las razones que apoyan la idea de una alfabetización científica para todos los ciudadanos y ciudadanas y hemos analizado las reticencias y barreras sociales que se han opuesto (y continúan oponiéndose) a una educación científica generalizada, con argumentos que expresan implícitamente la oposición a la ampliación del período de escolarización obligatoria para toda la ciudadanía, la supuesta incapacidad de la mayoría de la población para una formación científica, etc.

La educación científica aparece así como una necesidad del desarrollo social y personal. Pero las expectativas puestas en la contribución de las ciencias a unas humanidades modernas (Langevin, 1926) no se han cumplido y asistimos a un fracaso generalizado y, lo que es peor, a un creciente rechazo de los estudiantes hacia el aprendizaje de las ciencias e, incluso, hacia la ciencia misma.

Esta preocupante distancia entre las expectativas puestas en la contribución de la educación científica a la formación de ciudadanos conscientes de las repercusiones sociales de la ciencia –y susceptibles de incorporarse, en un porcentaje significativo, a sus tareas– y la realidad de un amplio rechazo de la ciencia y su aprendizaje, ha terminado por dirigir la atención hacia cómo se está llevando a cabo esa educación científica.

Este análisis de la enseñanza de las ciencias ha mostrado, entre otras cosas, graves distorsiones de la naturaleza de la ciencia que justifican, en gran medida, tanto el fracaso de buen número de estudiantes como su rechazo de la ciencia. Hasta el punto de que hayamos comprendido, como afirman Guilbert y Meloche (1993), que la mejora de la educación científica exige, como requisito ineludible, modificar la imagen de la naturaleza de la ciencia que los profesores tenemos y transmitimos.

En efecto, numerosos estudios han mostrado que la enseñanza transmite visiones de la ciencia que se alejan notoriamente de la forma como se construyen y evolucionan los conocimientos científicos (McComas, 1998; Fernández, 2000). Visiones empobrecidas y distorsionadas que generan el desinterés, cuando no el rechazo, de muchos estudiantes y se convierten en un obstáculo para el aprendizaje.

Ello está relacionado con el hecho de que la enseñanza científica –incluida la universitaria– se ha reducido básicamente a la presentación de conocimientos ya elaborados, sin dar ocasión a los estudiantes de asomarse a las actividades características de la actividad científica (Gil-Pérez et al., 1999). De este modo, las concepciones de los estudiantes –incluidos los futuros docentes– no llegan a diferir de lo que suele denominarse una imagen “folk”, “naif” o “popular” de la ciencia, socialmente aceptada, asociada a un supuesto “Método Científico”, con mayúsculas, perfectamente definido (Fernández et al., 2002).

Se podría argumentar que esta disonancia carece, en el fondo, de importancia, puesto que no ha impedido que los docentes desempeñemos la tarea de transmisores de los conocimientos científicos. Sin embargo, las limitaciones de una educación científica centrada en la mera transmisión de conocimientos –puestas de relieve por una abundante literatura, recogida en buena medida en los Handbooks ya aparecidos (Gabel, 1994; Fraser y Tobin, 1998; Perales y Cañal, 2000)– han impulsado investigaciones que señalan a las concepciones epistemológicas “de sentido común” como uno de los principales obstáculos para movimientos de renovación en el campo de la educación científica.

Se ha comprendido así que, si se quiere cambiar lo que los profesores y los alumnos hacemos en las clases de ciencias, es preciso previamente modificar la epistemología de

los profesores (Bell y Pearson, 1992). Y aunque poseer concepciones válidas acerca de la ciencia no garantiza que el comportamiento docente sea coherente con dichas concepciones, constituye *un requisito sine qua non* (Hodson, 1993). El estudio de dichas concepciones se ha convertido, por esa razón, en una potente línea de investigación y ha planteado la necesidad de establecer lo que puede entenderse como una imagen básicamente correcta sobre la naturaleza de la ciencia y de la actividad científica, coherente con la epistemología actual. Esto es lo que pretendemos abordar en este capítulo.

POSIBLES VISIONES DEFORMADAS DE LA CIENCIA Y LA TECNOLOGÍA

Somos conscientes de la dificultad que entraña hablar de una "imagen correcta" de la actividad científica, que parece sugerir la existencia de un supuesto método universal, de un modelo único de desarrollo científico. Es preciso, por supuesto, evitar cualquier interpretación de este tipo, pero ello no se consigue renunciando a hablar de las características de la actividad científica, sino con un esfuerzo consciente por evitar simplismos y deformaciones claramente contrarias a lo que puede entenderse, en sentido amplio, como aproximación científica al tratamiento de problemas.

Se trataría, en cierto modo, de aprehender por vía negativa una actividad compleja que parece difícil de caracterizar positivamente. Ésta es la primera tarea que nos proponemos:

Propuesta de trabajo

Explicitemos, a título de hipótesis, cuáles pueden ser las concepciones erróneas

sobre la actividad científica a las que la enseñanza de las ciencias debe prestar

atención, evitando su transmisión explícita o implícita.

Podría pensarse que esta actividad ha de ser escasamente productiva ya que se está pidiendo a los profesores, que solemos incurrir en dichas deformaciones, que investiguemos cuáles pueden ser éstas. Sin embargo, al crearse una situación de investigación (preferiblemente colectiva), los profesores podemos distanciarnos críticamente de nuestras concepciones y prácticas habituales, fruto de una impregnación ambiental que no habíamos tenido ocasión de analizar y valorar.

El resultado de este trabajo, que ha sido realizado con numerosos grupos de profesores en formación y en activo, es que las deformaciones conjeturadas son siempre las mismas; más aún, no sólo se señalan sistemáticamente las mismas deformaciones, sino que se observa una notable coincidencia en la frecuencia con que cada una es mencionada.

Cabe señalar, por otra parte, que si se realiza un análisis bibliográfico, buscando referencias a posibles errores y simplismos en la forma en que la enseñanza de la ciencia presenta la naturaleza de la ciencia, los resultados de dicho análisis son sorprendentemente coincidentes con las conjeturas de los equipos docentes en lo que se refieren a las deformaciones mencionadas y, en general, incluso a la frecuencia con que lo son (Fernández, 2000). Esta coincidencia básica muestra la efectividad de la reflexión de los equipos docentes.

Conviene detenerse en discutir las deformaciones conjeturadas (como veremos, *estrechamente relacionadas entre sí*), que expresan, en su conjunto, una imagen ingenua profundamente alejada de lo que supone la construcción de conocimientos científicos, pero que ha ido consolidándose hasta convertirse en un estereotipo socialmente aceptado que, insistimos, la propia educación científica refuerza por acción u omisión.

Los lectores que se hayan detenido a conjeturar estas posibles distorsiones podrán ahora comparar sus reflexiones con los resultados de las investigaciones recogidas en la literatura.

1. Una visión descontextualizada

Hemos elegido comenzar por una deformación criticada por todos los equipos docentes implicados en este esfuerzo de clarificación y por una abundante literatura: la transmisión de una visión descontextualizada, socialmente neutra, que olvida dimensiones esenciales de la actividad científica y tecnológica, como su impacto en el medio natural y social o los intereses e influencias de la sociedad en su desarrollo (Hodson, 1994). Se ignoran, pues, las complejas relaciones CTS, ciencia-tecnología-sociedad, o, mejor, CTSA, agregando la A de ambiente para llamar la atención sobre los graves problemas de degradación del medio que afectan a la totalidad del planeta. Este tratamiento descontextualizado comporta, muy en particular, una falta de clarificación de las relaciones entre ciencia y tecnología.

Propuesta de trabajo

¿Qué relación concebimos entre ciencia y tecnología?

Habitualmente, la tecnología es considerada una mera aplicación de los conocimientos científicos. De hecho, la tecnología ha sido vista tradicionalmente como una actividad de menor estatus que la ciencia "pura" (Acevedo, 1996; De Vries, 1996; Cajas, 1999 y 2001), por más que ello haya sido rebatido por epistemólogos como Bunge (1976 y 1997). Hasta muy recientemente, su estudio no ha formado parte de la educación general de los ciudadanos (Gilbert, 1992 y 1995), sino que ha quedado relegado, en el nivel secundario, a la llamada formación profesional, a la que se orientaba a los estudiantes con peores rendimientos escolares, frecuentemente procedentes de los sectores sociales más desfavorecidos (Rodríguez, 1998). Ello responde a la tradicional primacía social del trabajo "intelectual" frente a las actividades prácticas, "manuales", propias de las técnicas (Medway, 1989; López Cubino, 2001).

Es relativamente fácil, sin embargo, cuestionar esta visión simplista de las relaciones ciencia-tecnología: basta reflexionar brevemente sobre el desarrollo histórico de ambas (Gardner, 1994) para comprender que la actividad técnica ha precedido en milenios a la ciencia y que, por tanto, en modo alguno puede considerarse como mera aplicación de conocimientos científicos. A este respecto cabe subrayar que los dispositivos e instalaciones, y en general los inventos tecnológicos, no pueden ser considerados como meras aplicaciones de determinadas ideas científicas, en primer lugar, porque ellos tienen una prehistoria que muchas veces es independiente de dichas ideas como, muy en particular, necesidades humanas que han ido evolucionando, otras invenciones que le precedieron o

conocimientos y experiencia práctica acumulada de muy diversa índole. Así, la desviación de una aguja magnética por una corriente eléctrica (experiencia de Oersted, efectuada en 1819), por sí misma no sugería su utilización para la comunicación a distancia entre las personas. Se advirtió esa posibilidad sólo porque la comunicación a distancia era una necesidad creciente, y ya se habían desarrollado antes otras formas de “telegrafía”, sonora y visual, en las cuales se empleaban determinados códigos; también se habían construido baterías de potencia considerable, largos conductores y otros dispositivos que resultaban imprescindibles para el invento de la telegrafía. Ello permite comenzar a romper con la idea común de la tecnología como subproducto de la ciencia, como un simple proceso de aplicación del conocimiento científico para la elaboración de artefactos (lo que refuerza el supuesto carácter neutral, ajeno a intereses y conflictos sociales, del binomio ciencia-tecnología).

Pero lo más importante es clarificar lo que la educación científica de los ciudadanos y ciudadanas pierde con esta minusvaloración de la tecnología. Ello nos obliga a preguntarnos, como hace Cajas (1999), si hay algo característico de la tecnología que pueda ser útil para la formación científica de los ciudadanos y que los profesores de ciencias no estemos tomando en consideración.

Propuesta de trabajo

Consideremos posibles características de la tecnología que puedan ser

útiles para la formación científica de los ciudadanos y que los profesores

de ciencias no estemos tomando en consideración.

Nadie pretende hoy, por supuesto, trazar una neta separación entre ciencia y tecnología: desde la revolución industrial los tecnólogos han incorporado de forma creciente las estrategias de la investigación científica para producir y mejorar sus productos. La interdependencia de la ciencia y la tecnología ha seguido creciendo debido a su incorporación a las actividades industriales y productivas, y eso hace difícil hoy –y, al mismo tiempo, carente de interés– clasificar un trabajo como puramente científico o puramente tecnológico.

Sí que interesa destacar, por el contrario, algunos aspectos de las relaciones ciencia-tecnología, con objeto de evitar visiones deformadas que empobrecen la educación científica y tecnológica. El objetivo de los tecnólogos ha sido y sigue siendo, fundamentalmente, producir y mejorar artefactos, sistemas y procedimientos que satisfagan necesidades y deseos humanos, más que contribuir a la comprensión teórica, es decir, a la construcción de cuerpos coherentes de conocimientos (Mitcham, 1989; Gardner, 1994). Ello no significa que no utilicen o construyan conocimientos, sino que los construyen para *situaciones específicas* reales (Cajas 1999) y, por tanto, complejas, en las que no es posible dejar a un lado toda una serie de aspectos que en una investigación científica pueden ser obviados como no relevantes, pero que es preciso contemplar en el diseño y manejo de productos tecnológicos que han de funcionar en la vida real.

De este modo, el estudio resulta a la vez más limitado (interesa resolver una cuestión específica, no construir un cuerpo de conocimientos) y más complejo (no es posible trabajar en condiciones ‘ideales’, fruto de análisis capaces de eliminar influencias ‘espurias’). El cómo se convierte en la pregunta central, por encima del porqué. Un cómo que,

en general, no puede responderse únicamente a partir de principios científicos: al pasar de los diseños a la realización de prototipos y de éstos a la optimización de los procesos para su producción real, son innumerables –y, a menudo, insospechados– los problemas que deben resolverse. El resultado final ha de ser el funcionamiento correcto, en las situaciones requeridas, de los productos diseñados (Moreno, 1988).

Esta compleja interacción de comprensión y acción en situaciones específicas pero reales, no “puras”, es lo que caracteriza el trabajo tecnológico (Hill, 1998; Cajas, 1999). Como vemos, en modo alguno puede concebirse la tecnología como mera aplicación de los conocimientos científicos. No debemos, pues, ignorar ni minusvalorar los procesos de diseño, necesarios para convertir en realidad los objetos y sistemas tecnológicos y para comprender su funcionamiento. La presentación de esos productos como simple aplicación de algún principio científico sólo es posible en la medida en que no se presta atención real a la tecnología. *Se pierde así una ocasión privilegiada para conectar con la vida diaria de los estudiantes*, para familiarizarles con lo que supone la concepción y realización práctica de artefactos y su manejo real, superando los habituales tratamientos puramente librescos y verbalistas.

Estos planteamientos afectan también, en general, a las propuestas de incorporación de la dimensión CTSA, que se han centrado en promover la absolutamente necesaria contextualización de la actividad científica, discutiendo la relevancia de los problemas abordados, estudiando sus aplicaciones y posibles repercusiones (poniendo énfasis en la toma de decisiones), pero que han dejado a un lado otros aspectos clave de lo que supone la tecnología: el análisis medios-fines, el diseño y realización de prototipos (con la resolución de innumerables problemas prácticos), la optimización de los procesos de producción, el análisis riesgo-coste-beneficio, la introducción de mejoras sugeridas por el uso en definitiva, todo lo que supone la realización práctica y el manejo real de los productos tecnológicos de los que depende nuestra vida diaria.

De hecho las referencias más frecuentes a las relaciones CTSA que incluyen la mayoría de los textos escolares de ciencias se reducen a la enumeración de algunas *aplicaciones* de los conocimientos científicos (Solbes y Vilches, 1997), cayendo así en una exaltación simplista de la ciencia como factor absoluto de progreso.

Frente a esta ingenua visión de raíz positivista comienza a extenderse una tendencia a descargar sobre la ciencia y la tecnología la responsabilidad de la situación actual de deterioro creciente del planeta, lo que no deja de ser una nueva simplificación maniquea en la que resulta fácil caer y que llega a afectar, incluso, a algunos libros de texto (Solbes y Vilches, 1998). No podemos ignorar, a este respecto, que son científicos quienes estudian los problemas a que se enfrenta hoy la humanidad, advierten de los riesgos y ponen a punto soluciones (Sánchez Ron, 1994). Por supuesto, no sólo los científicos ni todos los científicos. Es cierto que son también científicos y tecnólogos quienes han producido, por ejemplo, los compuestos que están destruyendo la capa de ozono, *pero junto a economistas, políticos, empresarios y trabajadores*. Las críticas y las llamadas a la responsabilidad han de extenderse *a todos*, incluidos los “simples” consumidores de los productos nocivos.

El olvido de la tecnología es expresión de visiones puramente operativistas que ignoran completamente la contextualización de la actividad científica, como si la ciencia fuera un producto elaborado en torres de marfil, al margen de las contingencias de la vida ordinaria. Se trata de una visión que conecta con la que contempla a los científicos como

seres especiales, genios solitarios que manejan un lenguaje abstracto, de difícil acceso. La visión descontextualizada se ve reforzada, pues, por las concepciones individualistas y elitistas de la ciencia.

2. Una concepción individualista y elitista

Propuesta de trabajo

Consideremos en qué medida la enseñanza puede estar contribuyendo a una concepción individualista y elitista de la actividad científica.

Ésta es, junto a la visión descontextualizada que acabamos de analizar –y a la que está estrechamente ligada–, otra de las deformaciones más frecuentemente señaladas por los equipos docentes, y también más tratadas en la literatura. Los conocimientos científicos aparecen como obra de genios aislados, ignorándose el papel del trabajo colectivo, de los intercambios entre equipos... En particular, se deja creer que los resultados obtenidos por un solo científico o equipo pueden bastar para verificar o falsar una hipótesis o, incluso, toda una teoría.

A menudo se insiste explícitamente en que el trabajo científico es un dominio reservado a minorías especialmente dotadas, transmitiendo expectativas negativas hacia la mayoría de los alumnos y, muy en particular, de las alumnas, con claras discriminaciones de naturaleza social y sexual: la ciencia es presentada como una actividad eminentemente “masculina”.

Se contribuye, además, a este elitismo escondiendo la significación de los conocimientos tras presentaciones exclusivamente operativistas. No se realiza un esfuerzo por hacer la ciencia accesible (comenzando con tratamientos cualitativos, significativos), ni por mostrar su carácter de construcción humana, en la que no faltan confusiones ni errores, como los de los propios alumnos.

En algunas ocasiones nos encontramos con una deformación de signo opuesto que contempla la actividad científica como algo sencillo, próximo al sentido común, olvidando que la construcción científica parte, precisamente, del cuestionamiento sistemático de lo obvio (Bachelard, 1938), pero en general la concepción dominante es la que contempla la ciencia como una actividad de genios aislados.

La falta de atención a la tecnología contribuye a esta visión individualista y elitista: por una parte, se obvia la complejidad del trabajo científico-tecnológico que exige, como ya hemos señalado, la integración de diferentes clases de conocimientos, difícilmente asumibles por una única persona; por otra, se minusvalora la aportación de técnicos, maestros de taller, etc., quienes a menudo han jugado un papel esencial en el desarrollo científico-tecnológico. El punto de partida de la Revolución Industrial, por ejemplo, fue la máquina de Newcomen, que era fundidor y herrero. Como afirma Bybee (2000), “Al revisar la investigación científica contemporánea, uno no puede escapar a la realidad de que la mayoría de los avances científicos están basados en la tecnología”. Y ello cuestiona la visión elitista, socialmente asumida, de un trabajo científico-intelectual por encima del trabajo técnico.

La imagen individualista y elitista del científico se traduce en iconografías que representan al *hombre* de bata blanca en su inaccesible laboratorio, repleto de extraños instrumentos. De esta forma, conectamos con una tercera y grave deformación: la que asocia el trabajo científico, casi exclusivamente, con ese trabajo en el laboratorio, donde el científico experimenta y observa en busca del feliz “descubrimiento”. Se transmite así una visión empiro-inductivista de la actividad científica, que abordaremos seguidamente.

3. Una concepción empiro-inductivista y ateórica

Propuesta de trabajo

¿Cuál sería el papel de la observación y de la experimentación en la actividad científica?

Quizás sea la concepción empiro-inductivista la deformación que ha sido estudiada en primer lugar, y la más ampliamente señalada en la literatura. Una concepción que defiende el papel de la observación y de la experimentación “neutras” (no contaminadas por ideas apriorísticas), olvidando el papel esencial de las hipótesis como focalizadoras de la investigación y de los cuerpos coherentes de conocimientos (teorías) disponibles, que orientan todo el proceso.

Numerosos estudios han mostrado las discrepancias entre la imagen de la ciencia proporcionada por la epistemología contemporánea y ciertas concepciones docentes, ampliamente extendidas, marcadas por un empirismo extremo (Giordan, 1978; Hodson, 1985; Nussbaum, 1989; Cleminson, 1990; King, 1991; Stinner, 1992; Désautels et al., 1993; Lakin y Wellington, 1994; Hewson, Kerby y Cook, 1995; Jiménez Aleixandre, 1995; Thomaz et al., 1996; Izquierdo, Sanmartí y Espinet, 1999...). Hay que insistir, a este respecto, en el rechazo generalizado de lo que Piaget (1970) denomina “el mito del origen sensorial de los conocimientos científicos”, es decir, en el rechazo de un empirismo que concibe los conocimientos como resultado de la inferencia inductiva a partir de “datos puros”. Esos datos no tienen sentido en sí mismos, sino que requieren ser interpretados de acuerdo con un sistema teórico. Así, por ejemplo, cuando se utiliza un amperímetro no se observa la intensidad de una corriente, sino la simple desviación de una aguja (Bunge, 1980). Se insiste, por ello, en que toda investigación y la misma búsqueda de datos vienen marcadas por paradigmas teóricos, es decir, por visiones coherentes, articuladas, que orientan dicha investigación.

Es preciso, además, insistir en la importancia de los paradigmas conceptuales, de las teorías, en el desarrollo del trabajo científico (Bunge, 1976), en un proceso complejo, no reducible a un modelo definido de cambio científico (Estany, 1990), que incluye eventuales rupturas, cambios revolucionarios (Kuhn, 1971), del paradigma vigente en un determinado dominio y surgimiento de nuevos paradigmas teóricos. Y es preciso también insistir en que los problemas científicos constituyen inicialmente “situaciones problemáticas” confusas: el problema no viene dado, es necesario formularlo de manera precisa, modelizando la situación, haciendo determinadas opciones para simplificarlo más o menos con el fin de poder abordarlo, clarificando el objetivo, etc. Y todo esto partiendo del corpus de conocimientos que se posee en el campo específico en que se desarrolla el programa de investigación (Lakatos, 1989).

Estas concepciones empiro-inductivistas de la ciencia afectan a los mismos científicos –pues, como explica Mosterin (1990), sería ingenuo pensar que éstos “son siempre explícitamente conscientes de los métodos que usan en su investigación”–, así como, lógicamente, a los mismos estudiantes (Gaskell, 1992; Pomeroy, 1993; Roth y Roychondhury, 1994; Solomon, Duveen y Scott, 1994; Abrams y Wandersee, 1995; Traver, 1996; Roth y Lucas, 1997; Désautels y Larochelle, 1998). Conviene señalar que esta idea, que atribuye la esencia de la actividad científica a la experimentación, coincide con la de “descubrimiento” científico, transmitida, por ejemplo, por los cómics, el cine y, en general, por los medios de comunicación (Lakin y Wellington, 1994). Dicho de otra manera, parece que la visión de los profesores –o la que proporcionan los libros de texto (Selley, 1989; Stinner, 1992)– no es muy diferente, en lo que respecta al papel atribuido a los experimentos, de lo que hemos denominado la imagen “ingenua” de la ciencia, socialmente difundida y aceptada.

Cabe señalar que aunque ésta es, parece ser, la deformación más estudiada y criticada en la literatura, son pocos los equipos docentes que se refieren a esta posible deformación. Ello puede interpretarse como índice del peso que continúa teniendo esta concepción empiro-inductivista en el profesorado de ciencias. Es preciso tener en cuenta a este respecto que, pese a la importancia dada (verbalmente) a la observación y experimentación, en general la enseñanza es puramente *libresca*, de simple transmisión de conocimientos, sin apenas trabajo experimental *real* (más allá de algunas “recetas de cocina”). La experimentación conserva, así, para profesores y estudiantes el atractivo de una “revolución pendiente”, como hemos podido percibir en entrevistas realizadas a profesores en activo (Fernández, 2000).

Esta falta de trabajo experimental tiene como una de sus causas la escasa familiarización de los profesores con la dimensión tecnológica y viene, a su vez, a reforzar las visiones simplistas sobre las relaciones ciencia-tecnología a las que ya hemos hecho referencia. En efecto, el trabajo experimental puede ayudar a comprender que, si bien la tecnología se ha desarrollado durante milenios sin el concurso de la ciencia, inexistente hasta muy recientemente (Niiniluoto, 1997; Quintanilla y Sánchez Ron, 1997), la construcción del conocimiento científico *siempre* ha sido y sigue siendo deudora de la tecnología: basta recordar que para someter a prueba las hipótesis que focalizan una investigación estamos obligados a construir diseños experimentales; y hablar de *diseños* es ya utilizar un lenguaje tecnológico.

Es cierto que, como ya señalaba Bunge (1976), los diseños experimentales son deudores del cuerpo de conocimientos (la construcción, por ejemplo, de un amperímetro sólo tiene sentido a la luz de una buena comprensión de la corriente eléctrica), pero su realización concreta exige resolver problemas prácticos en un proceso complejo con todas las características del trabajo tecnológico. Es precisamente éste el sentido que debe darse a lo que manifiesta Hacking (1983) cuando –parafraseando la conocida frase de que “la observación está cargada de teoría” (Hanson 1958)– afirma que “la observación y la experimentación científica están cargadas de una competente práctica previa”.

Cuando, por ejemplo, Galileo concibe la idea de “debilitar”, la caída de los cuerpos mediante el uso de un plano inclinado de fricción despreciable, con objeto de someter a prueba la hipótesis de que la caída de los graves constituye un movimiento de aceleración constante, la propuesta resulta conceptualmente sencilla: si la caída libre tiene lugar con aceleración constante, el movimiento de un cuerpo que se desliza por un plano inclinado con fricción despreciable también tendrá aceleración constante, pero tanto más pequeña cuanto menor sea el ángulo del plano, lo que facilita la medida de los

tiempos y la puesta a prueba de la relación esperada entre las distancias recorridas y los tiempos empleados. Sin embargo, la realización práctica de este diseño comporta resolver toda una variedad de problemas: preparación de una superficie suficientemente plana y pulida, por la que pueda rodar una esferita, como forma de reducir la fricción; construcción de una canaleta para evitar que la esferita se desvíe y caiga del plano inclinado; establecimiento de la forma de soltar la esferita y de determinar el instante de llegada, etc. Se trata, sin duda alguna, de un trabajo tecnológico destinado a lograr un objetivo concreto, a resolver una situación específica, lo que exige una multiplicidad de habilidades y conocimientos. Y lo mismo puede decirse de cualquier diseño experimental, incluso de los más sencillos.

No se trata, pues, de señalar, como a veces se hace, que “*algunos*” desarrollos tecnológicos han sido imprescindibles para hacer posible “*ciertos*” avances científicos (como, p.e., el papel de las lentes en la investigación astronómica): la tecnología está *siempre* en el corazón de la actividad científica; la expresión *diseño* experimental es perfectamente ilustrativa a este respecto.

Desafortunadamente, las escasas prácticas de laboratorio escolares escamotean a los estudiantes (¡incluso en la universidad!) toda la riqueza del trabajo experimental, puesto que presentan montajes ya elaborados para su simple manejo siguiendo guías tipo “receta de cocina”.

De este modo, la enseñanza centrada en la simple transmisión de conocimientos ya elaborados no sólo impide comprender el papel esencial que la tecnología juega en el desarrollo científico, sino que, contradictoriamente, favorece el mantenimiento de las concepciones empiro-inductivistas que sacralizan un trabajo experimental, al que nunca se tiene acceso real, como elemento central de un supuesto “método científico”, lo que se vincula con otras dos graves deformaciones que abordaremos brevemente a continuación.

4. Una visión rígida, algorítmica, infalible...

Propuesta de trabajo

Analicemos críticamente la concepción, ampliamente recogida en la literatura, que presenta el “Método Científico” como un conjunto de etapas a seguir correlativamente, resaltando lo que supone tratamiento cuantitativo, control riguroso, etc., y olvidando –o, incluso, rechazando– todo lo que significa invención, creatividad, duda...

Ésta es una concepción ampliamente difundida entre el profesorado de ciencias, como se ha podido constatar utilizando diversos diseños (Fernández, 2000). Así, en entrevistas mantenidas con profesores, una mayoría se refiere al “método científico” como una secuencia de etapas definidas, en las que las “observaciones” y los “experimentos rigurosos” juegan un papel destacado, contribuyendo a la “exactitud y objetividad” de los resultados obtenidos.

Frente a ello es preciso resaltar el papel jugado en la investigación por el pensamiento divergente, que se concreta en aspectos fundamentales y erróneamente relegados en los planteamientos empiro-inductivistas, como son la invención de hipótesis y modelos o el propio diseño de experimentos. No se razona, pues, en términos de certezas más o menos basadas en “evidencias”, sino en términos de hipótesis, que se apoyan, es cierto en los conocimientos adquiridos, pero que son contempladas como “tentativas de respuesta” que han de ser puestas a prueba lo más rigurosamente posible, lo que da lugar a un proceso complejo, en el que no existen principios normativos, de aplicación universal, para la aceptación o rechazo de hipótesis o, más en general, para explicar los cambios en los conocimientos científicos (Giere, 1988). Es preciso reconocer, por el contrario, que ese carácter tentativo se traduce en dudas sistemáticas, en replanteamientos, búsqueda de nuevas vías, etc., que muestran el papel esencial de la invención y la creatividad, contra toda idea de método riguroso, algorítmico. Y, si bien la obtención de datos experimentales en condiciones definidas y controladas (en las que la dimensión tecnológica juega un papel esencial) ocupa un lugar central en la investigación científica, es preciso relativizar dicho papel, que sólo cobra sentido, insistimos, con relación a las hipótesis a contrastar y a los diseños concebidos a tal efecto. En palabras de Hempel (1976), “al conocimiento científico no se llega aplicando un procedimiento inductivo de inferencia a partir de datos recogidos con anterioridad, sino más bien mediante el llamado método de las hipótesis a título de intentos de respuesta a un problema en estudio y sometiendo luego éstas a la contrastación empírica”. Son las hipótesis, pues, las que orientan la búsqueda de datos. Unas hipótesis que, a su vez, nos remiten al paradigma conceptual de partida, poniendo de nuevo en evidencia el error de los planteamientos empiristas.

La concepción algorítmica, como la empiro-inductivista, en la que se apoya, puede mantenerse en la medida misma en que el conocimiento científico se transmite en forma acabada para su simple recepción, sin que ni los estudiantes ni los profesores tengan ocasión de constatar prácticamente las limitaciones de ese supuesto “método científico”. Por la misma razón se incurre con facilidad en una visión aproblemática y ahistórica de la actividad científica a la que nos referiremos a continuación.

5. Una visión aproblemática y ahistórica (ergo acabada y dogmática)

Como ya hemos señalado, el hecho de transmitir conocimientos ya elaborados conduce muy a menudo a ignorar cuáles fueron los problemas que se pretendían resolver, cuál ha sido la evolución de dichos conocimientos, las dificultades encontradas, etc., y, más aún, a no tener en cuenta las limitaciones del conocimiento científico actual o las perspectivas abiertas.

Propuesta de trabajo

*¿Cuáles pueden ser las consecuencias de no referirse a los problemas que
están en el origen de la construcción de unos conocimientos?*

Al presentar unos conocimientos ya elaborados, sin siquiera referirse a los problemas que están en su origen, se pierde de vista que, como afirma Bachelard (1938), “todo

conocimiento es la respuesta a una cuestión”, a un problema. Este olvido dificulta captar la racionalidad del proceso científico y hace que los conocimientos aparezcan como construcciones arbitrarias. Por otra parte, al no contemplar la evolución de los conocimientos, es decir, al no tener en cuenta la historia de las ciencias, se desconoce cuáles fueron las dificultades, los obstáculos epistemológicos que fue preciso superar, lo que resulta fundamental para comprender las dificultades de los alumnos (Saltiel y Viennot, 1985).

Debemos insistir, una vez más, en la estrecha relación existente entre las deformaciones contempladas hasta aquí. Esta visión aporética y ahistórica, por ejemplo, hace posible las concepciones simplistas acerca de las relaciones ciencia-tecnología. Pensemos que si toda investigación responde a problemas, a menudo, esos problemas tienen una vinculación directa con necesidades humanas y, por tanto, con la búsqueda de soluciones adecuadas para problemas tecnológicos previos.

De hecho, el olvido de la dimensión tecnológica en la educación científica impregna la visión distorsionada de la ciencia, socialmente aceptada, que estamos sacando aquí a la luz. Precisamente por ello hemos denominado este apartado “Posibles visiones deformadas de la ciencia y la tecnología”, tratando así de superar un olvido que históricamente tiene su origen en la distinta valoración del trabajo intelectual y manual y que afecta gravemente a la necesaria alfabetización científica y tecnológica del conjunto de la ciudadanía (Maiztegui et al., 2002).

La visión distorsionada y empobrecida de la naturaleza de la ciencia y de la construcción del conocimiento científico, en la que la enseñanza de las ciencias incurre, por acción u omisión, incluye otras dos visiones deformadas, que tienen en común olvidar la dimensión de la ciencia como construcción de cuerpos coherentes de conocimientos.

6. Visión exclusivamente analítica

Nos referiremos, en primer lugar, a lo que hemos denominado visión “exclusivamente analítica”, que está asociada a una incorrecta apreciación del papel del análisis en el proceso científico:

Propuesta de trabajo

*Consideremos el papel del análisis en la actividad científica,
contemplando sus ventajas y peligros.*

Señalemos, para empezar, que una característica esencial de una aproximación científica es la voluntad explícita de simplificación y de control riguroso en condiciones preestablecidas, lo que introduce elementos de artificialidad indudables, que no deben ser ignorados ni ocultados: los científicos *deciden* abordar problemas resolubles y comienzan, para ello, *ignorando* consciente y voluntariamente muchas de las características de las situaciones estudiadas, lo que evidentemente les “aleja” de la realidad; y continúan alejándose mediante lo que, sin duda, hay que considerar la esencia del trabajo científico: la *invención* de hipótesis y modelos...

El trabajo científico exige, pues, tratamientos analíticos, simplificadoros, artificiales. Pero ello no supone, como a veces se critica, incurrir necesariamente en visiones parciales.

y simplistas: en la medida en que se trata de análisis y simplificaciones conscientes, se tiene presente la necesidad de síntesis y de estudios de complejidad creciente. Pensemos, por ejemplo, que el establecimiento de la unidad de la materia –que constituye un claro apoyo a una visión global, no parcializada– es una de las mayores conquistas del desarrollo científico de los últimos siglos: los principios de conservación y *transformación* de la materia y de la energía fueron establecidos, respectivamente, en los siglos XVIII y XIX, y fue sólo a fines del XIX cuando se produjo la fusión de tres dominios aparentemente autónomos –electricidad, óptica y magnetismo– en la teoría electromagnética, abriendo un enorme campo de aplicaciones que sigue revolucionando nuestra vida diaria. Y no hay que olvidar que estos procesos de unificación han exigido, a menudo, actitudes críticas nada cómodas, que han tenido que vencer fuertes resistencias ideológicas e incluso persecuciones y condenas, como en los casos, bien conocidos, del heliocentrismo o del evolucionismo. La historia del pensamiento científico es una constante confirmación de que los avances tienen lugar *profundizando* en el conocimiento de la realidad en campos definidos, acotados; es esta profundización inicial la que permite llegar posteriormente a establecer lazos entre campos aparentemente desligados (Gil-Pérez et al., 1991).

7. Visión acumulativa, de crecimiento lineal

Una deformación a la que tampoco suelen hacer referencia los equipos docentes y que es la segunda menos mencionada en la literatura –tras la visión exclusivamente analítica– consiste en presentar el desarrollo científico como fruto de un crecimiento lineal, puramente acumulativo (Izquierdo, Sanmartí y Espinet, 1999), ignorando las crisis y las remodelaciones profundas, fruto de procesos complejos que no se dejan ahorrar por ningún modelo definido de desarrollo científico (Giere, 1988; Estany, 1990). Esta deformación es complementaria, en cierto modo, de lo que hemos denominado visión rígida, algorítmica, aunque deben ser diferenciadas: mientras la visión rígida o algorítmica se refiere a cómo se concibe *la realización de una investigación dada*, la visión acumulativa es una interpretación simplista de *la evolución de los conocimientos científicos, a lo largo del tiempo, como fruto del conjunto de investigaciones* realizadas en determinado campo. Una visión simplista a la que la enseñanza suele contribuir al presentar las teorías hoy aceptadas sin mostrar el proceso de su establecimiento, ni referirse a las frecuentes confrontaciones entre teorías rivales, ni a los complejos procesos de cambio, que incluyen auténticas “revoluciones científicas” (Kuhn, 1971)”

8. Relaciones entre las distintas visiones deformadas de la actividad científica y tecnológica

Éstas son, en síntesis, las siete grandes deformaciones que hemos visto tratadas en la literatura y que son mencionadas como fruto de la reflexión (auto)crítica de los equipos docentes. Se trata también de las deformaciones que hemos visto reflejadas en la docencia habitual, en un estudio detenido que ha utilizado cerca de 20 diseños experimentales (Fernández et al., 2002). Pero estas deformaciones no constituyen una especie de “siete pecados capitales” distintos y autónomos; por el contrario, al igual que se ha mostrado en el caso de las preconcepciones de los estudiantes en un determinado dominio (Driver y Oldham, 1986), forman un esquema conceptual relativamente integrado.

 Propuesta de trabajo

Indiquemos posibles relaciones entre las visiones deformadas de la ciencia y tecnología que hemos analizado y que caracterizan, en su conjunto, una imagen ingenua de la ciencia, aceptada socialmente.

Podemos recordar que una visión individualista y elitista de la ciencia, por ejemplo, apoya implícitamente la idea empirista de “descubrimiento” y contribuye, además, a una lectura descontextualizada, socialmente neutra, de la actividad científica (realizada por “genios” solitarios). Del mismo modo, por citar otro ejemplo, una visión rígida, algorítmica, exacta, de la ciencia refuerza una interpretación acumulativa, lineal, del desarrollo científico, ignorando las crisis y las revoluciones científicas.

Así pues, estas concepciones aparecen asociadas entre sí como expresión de una imagen ingenua de la ciencia que se ha ido decantando, pasando a ser socialmente aceptada. De hecho, esa imagen tópica de la ciencia parece haber sido asumida incluso por numerosos autores del campo de la educación, que critican como características de la ciencia lo que no son sino visiones deformadas de la misma. Así, por ejemplo, Kemmis y McTaggart (Hodson, 1992) atribuyen a la investigación académica deformaciones y reduccionismos que los autores dan por sentado que corresponden al “método científico” utilizado por “las ciencias naturales”, tales como su carácter “neutral”, su preocupación exclusiva por “acumular conocimientos” (sin atención a “la mejora de la práctica”), su limitación a “un mero procedimiento de *resolución* de problemas” (olvidando el *planteamiento* de los mismos), etc.

Incluso entre algunos investigadores en didáctica de la ciencia parece aceptarse que la ciencia clásica sería puramente analítica, “neutra”, etc. Ya no se trata de que la enseñanza haya transmitido esas concepciones reduccionistas, empobrecedoras, sino que toda la ciencia clásica tendría esos defectos.

Pero, ¿cómo se puede afirmar que la ciencia clásica es –como suele decirse– puramente analítica, si su primer edificio teórico significó la integración de dos universos considerados esencialmente distintos, derribando la supuesta barrera entre el mundo celeste y el sublunar? Una integración, además, que implicaba desafiar dogmas, tomar partido por la libertad de pensamiento, correr riesgos de condenas.

Y no es sólo la mecánica: toda la ciencia clásica puede interpretarse como la superación de supuestas barreras, la integración de dominios separados (por el sentido común y por los dogmas). Pensemos en la teoría de la evolución de las especies; en la síntesis orgánica (¿en el siglo XIX todavía se sostenía la existencia de un “elan vital” y se negaba la posibilidad de sintetizar compuestos orgánicos!); en el electromagnetismo, que mostró los vínculos entre electricidad, magnetismo y óptica; en los principios de conservación y transformación de la masa y de la energía, aplicables a cualquier proceso (Gil-Pérez et al., 1991). ¿Dónde está el carácter puramente analítico? ¿Dónde está el carácter neutro, aséptico, de esa ciencia? Hay que reconocer que, al menos, no toda la ciencia clásica ha sido así. Parece más apropiado, pues, hablar de visiones (o, en todo caso, tendencias) deformadas de la ciencia, que atribuir esas características a toda la ciencia clásica.

Las concepciones docentes sobre la naturaleza de la ciencia y la construcción del conocimiento científico serían, pues, expresión de esa visión común, que los profesores de ciencias aceptaríamos implícitamente debido a la falta de reflexión crítica y a una

educación científica que se limita, a menudo, a una simple transmisión de conocimientos ya elaborados. Ello no sólo deja en la sombra las características esenciales de la actividad científica y tecnológica, sino que contribuye a reforzar algunas deformaciones, como el supuesto carácter “exacto” (ergo dogmático) de la ciencia, o la visión aproblemática. De este modo, la imagen de la ciencia que adquirimos los docentes no se diferenciaría significativamente de la que puede expresar cualquier ciudadano y resulta muy alejada de las concepciones actuales acerca de la naturaleza de la ciencia y de la construcción del conocimiento científico.

El trabajo realizado hasta aquí nos ha permitido sacar a la luz, a título de hipótesis, posibles visiones deformadas de la ciencia que la enseñanza podría estar contribuyendo a transmitir por acción u omisión. Las numerosas investigaciones recogidas en la literatura confirman la extensión de esta imagen distorsionada y empobrecida de la ciencia y la tecnología, así como la necesidad de superarla para hacer posible una educación científica susceptible de interesar a los estudiantes y de facilitar su inmersión en una cultura científica. Con tal propósito, dedicaremos el siguiente apartado a afianzar el cuestionamiento de estas deformaciones.

ANÁLISIS DE LA PRESENCIA DE LAS VISIONES DEFORMADAS DE LA CIENCIA Y LA TECNOLOGÍA EN LA ENSEÑANZA

Tal como hemos indicado, dedicaremos este apartado a analizar en qué medida la enseñanza de las ciencias transmite las visiones deformadas que acabamos de discutir.

Propuesta de trabajo

Sugiramos algunos diseños para analizar la posible transmisión de visiones deformadas de la ciencia y la tecnología por la enseñanza.

Son posibles numerosos diseños para llevar a cabo dicho análisis, como se detalla en algunos trabajos citados (Fernández, 2000; Fernández et al., 2002). Por ejemplo, es posible analizar lo que en los textos, libros, artículos, etc., se señala en torno a la naturaleza del trabajo científico. O lo que reflejan los diagramas de un proceso de investigación que incluyen algunos textos y libros de prácticas. Se puede recoger, mediante cuestionarios y entrevistas, lo que para los profesores significa un proceso de investigación, etc. O se puede proceder a observaciones directas de cómo se orienta el trabajo en el aula, etc.

Nuestra intención aquí, sin embargo, no es, fundamentalmente, poner de relieve la incidencia de una imagen deformada y empobrecida de la ciencia en la enseñanza (puesta en evidencia por una abundante investigación, a la que hemos ido haciendo referencia), sino utilizar este trabajo de análisis para profundizar en la comprensión de lo que representan estas visiones distorsionadas de la actividad científica y afianzar el necesario distanciamiento crítico respecto de dichas deformaciones. Pasamos, pues, a poner en práctica algunos de estos diseños.

Propuesta de trabajo

Señalemos las visiones deformadas que, por acción u omisión, se aprecian en el dibujo que se proporciona, elaborado por un profesor en formación como representación de la actividad científica. Modifiquémoslo, seguidamente, hasta lograr que salga al paso de las visiones deformadas de la ciencia que ahora transmite por acción u omisión.



No resulta difícil constatar que este dibujo “típico” incide claramente en las siguientes visiones deformadas:

- *Individualista y elitista* (representa un único investigador, varón, ...).
- *Descontextualizada* (no se dice nada acerca del posible interés y relevancia de la investigación, sus posibles repercusiones... y el lugar de trabajo parece una auténtica torre de marfil absolutamente aislada... ¡ni siquiera se dibuja una ventana!).
- *Aproblemática* (no se indica que se esté investigando algún problema).
- *Empiro-inductivista* (su actividad parece reducirse a la observación y experimentación en busca del descubrimiento feliz... no se representa ni un libro que permita pensar en el cuerpo de conocimientos).

Poco más puede decirse de lo que *aparece* en el dibujo, pero sí de las *ausencias*, que vienen a incidir, *por omisión*, en otras visiones deformadas:

- *Rígida, algorítmica, infalible* (nada se dice, por ejemplo, de posibles revisiones y replanteamientos de la investigación).

- *Exclusivamente analítica* (no se plantea la posible vinculación del problema abordado a diferentes campos de la ciencia, ni la conveniencia de un tratamiento interdisciplinar...).
- *Acumulativa* (ninguna mención de cómo el nuevo “descubrimiento” afecta al cuerpo de conocimientos...).

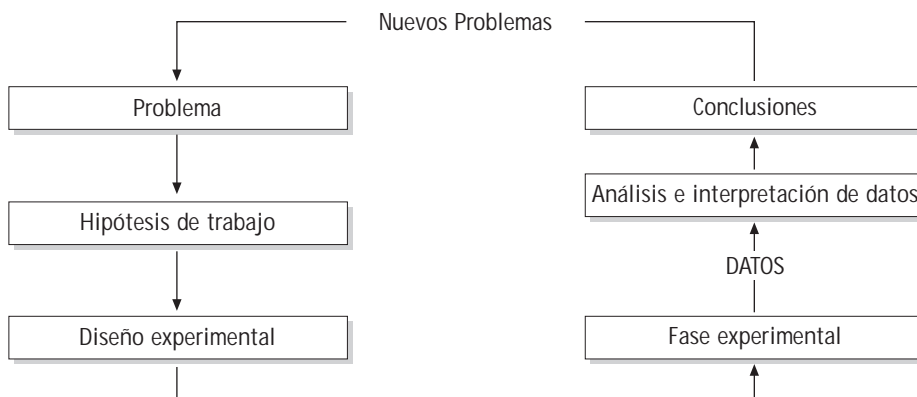
Es posible, sin embargo, salir al paso de estas deformaciones con relativa facilidad. Por ejemplo, se puede agregar algún investigador más, incluyendo algunas mujeres y jóvenes investigadores en formación, cuestionando así las visiones individualistas y elitistas. Y se puede cuestionar la visión rígida con algún comentario acerca de las numerosas revisiones, dibujando una papelerera de la que desborden papeles arrugados. Y de la visión acumulativa con una exclamación del tipo “¡Si se confirman estos resultados será necesario revisar la teoría vigente!”, etc.

Es importante detenerse en análisis y rectificaciones como éstos. Podemos, por ejemplo, plantear esta otra actividad:

Propuesta de trabajo

Analicemos críticamente el diagrama de flujo que se proporciona, que aparece en un libro de texto como representación del “Método Científico”. Modifiquemos a continuación dicho diagrama para representar las estrategias del trabajo científico, intentado evitar las visiones deformadas de la ciencia que ahora transmite por acción u omisión.

Belmonte Nieto, M., 1987. AKAL



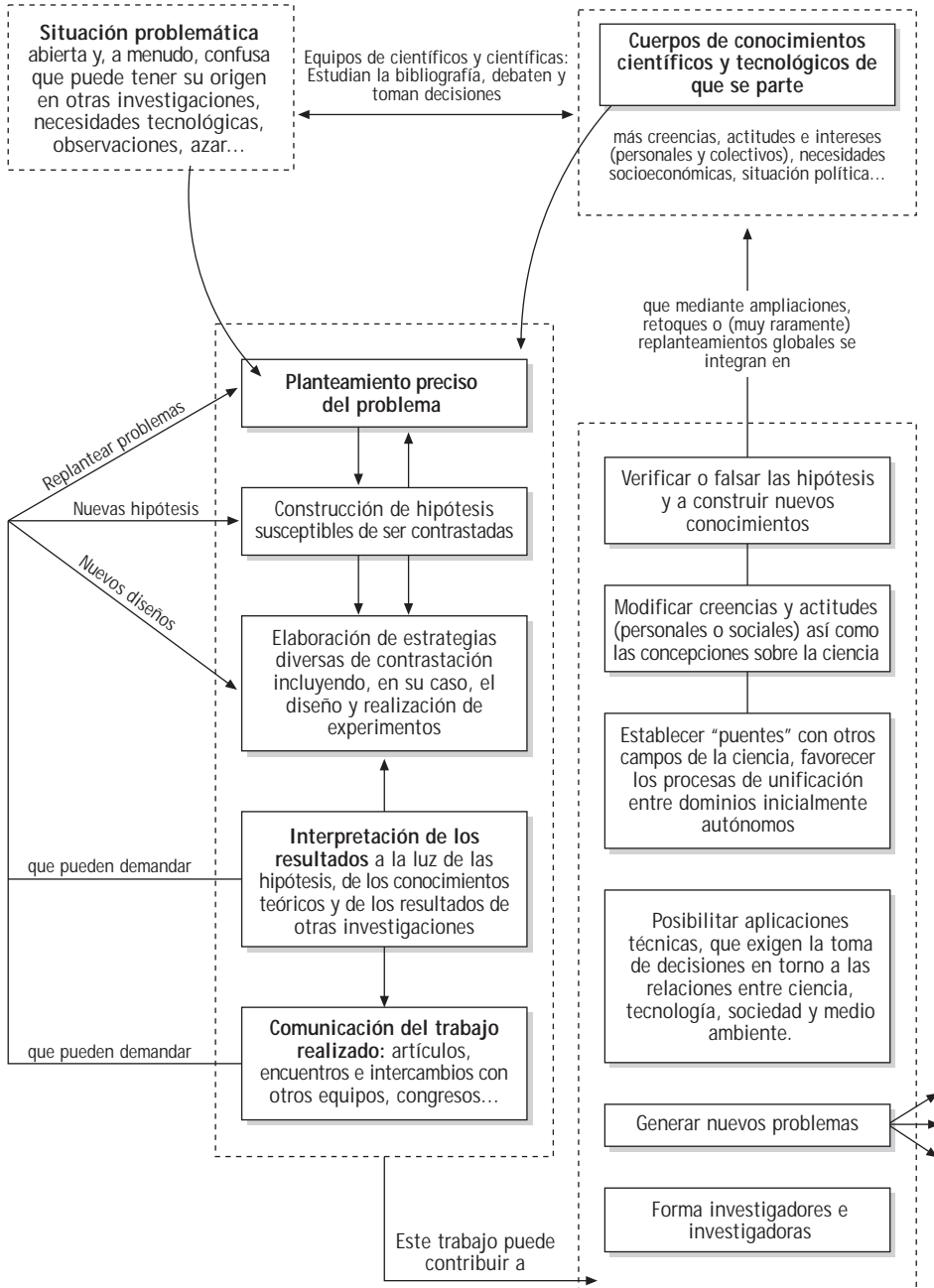
De nuevo resulta fácil detectar bastantes de las distorsiones y empobrecimientos típicos en un diagrama como éste: desde el carácter rígido, algorítmico, de etapas a seguir ordenadamente, a la visión descontextualizada, aunque al menos se hace referencia a un problema como origen de la investigación.

Un esfuerzo explícito por no incurrir en estas deformaciones permite elaborar diagramas más ricos, como el que se muestra a continuación.

Una lectura cuidadosa permite constatar cómo los autores han evitado incurrir, por acción u omisión, en los reduccionismos y distorsiones típicos. Podemos ver, por ejemplo, cómo se sale al paso de visiones individualistas y elitistas con las referencias a “equipos de científicos y científicas”, a la “comunicación del trabajo realizado: artículos, encuentros e intercambios con otros equipos, congresos...” y a la formación de investigadores e investigadoras como una de las contribuciones del trabajo científico. Y, por citar otros ejemplos, se evita transmitir una visión puramente analítica señalando que las investigaciones realizadas *pueden* contribuir a “establecer ‘puentes’ con otros campos de la ciencia y favorecer los procesos de unificación entre dominios inicialmente autónomos”.

UN DIAGRAMA DE LA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA

Representación esquemática de un proceso abierto sin reglas ni etapas rígidas



Para terminar el análisis de las visiones deformadas de la ciencia y la tecnología en la enseñanza, proponemos la siguiente actividad, que da paso a la elaboración de propuestas para evitar dichas deformaciones, con una aproximación a una descripción más adecuada de la actividad científica y tecnológica:

Propuesta de trabajo

Analicemos la visión de la ciencia que transmite el texto que se proporciona (tomado de un libro universitario), indicando las visiones deformadas en las que incurre por acción u omisión y elaboremos un texto alternativo que describa más adecuadamente la naturaleza de la actividad científica.

PARRY, R. W., STEINER, L. E., TELLEFSEN, R. L. y DIETZ, P. M. (1973). *Química. Fundamentos experimentales*. Barcelona: Ed. Reverté.

“Resumiendo, las actividades básicas de la ciencia son:

- (1) acumulación de información mediante la observación,
- (2) organización de esta información y búsqueda de regularidades,
- (3) búsqueda de una explicación de las regularidades, y
- (4) comunicación de los resultados y de las probables explicaciones.

Para la realización de estas actividades no existe un orden prefijado, no hay un “método científico”, que exija que se sigan estrictamente los pasos indicados en ese orden. En realidad, cuando se trata de buscar una explicación, aparece generalmente la necesidad de realizar observaciones mejor controladas. Una secuencia de observaciones cuidadosamente controladas suelen denominarse frecuentemente experimento. En el caso de los experimentos de química, las condiciones se controlan más fácilmente en el laboratorio, pero el estudio de la naturaleza no debiera limitarse al que puede realizarse en un local cerrado, porque la ciencia nos rodea completamente”.

Podemos empezar señalando que dicho texto intenta evitar una visión rígida de la actividad científica cuando señala: “Para la realización de estas actividades no existe un orden prefijado, no hay un ‘método científico’ que exija que se sigan estrictamente los pasos indicados en ese orden”.

También se tiene en cuenta el carácter social de la ciencia al hablar de “comunicación”, aunque no se cuestiona con claridad la visión individualista y elitista. Con muy buena voluntad se puede aceptar que este texto intenta también salir al paso de una visión descontextualizada en la frase en la que se afirma que “la ciencia nos rodea completamente”.

En el resto de las visiones incide, bien por acción (como ocurre con la concepción empiro-inductivista), bien por omisión, puesto que no se menciona nada que permita evitar visiones aporéticas, exclusivamente analíticas o de crecimiento lineal, puramente acumulativo, de los conocimientos científicos.

La elaboración de un texto alternativo es, naturalmente, una tarea bastante exigente, para la que se precisa tiempo y una cuidadosa atención para no olvidar ninguna de las posibles deformaciones. A título de ejemplo reproducimos un texto elaborado por los autores de esta unidad didáctica, en el que se recogen las reflexiones tenidas en cuenta en el estudio de las visiones deformadas de la ciencia y la tecnología abordadas en apartados anteriores:

¿QUÉ PODEMOS ENTENDER POR ACTIVIDAD CIENTÍFICA?

Queremos señalar, en primer lugar, que somos conscientes de que la naturaleza de la actividad científica ha dado lugar a serios debates, en los que se manifiestan profundas discrepancias entre los estudiosos (Popper, 1962; Khun, 1971; Bunge, 1976; Toulmin, 1977; Feyerabend, 1975; Lakatos, 1982; Laudan, 1984...). Ello genera, en ocasiones, una cierta perplejidad entre los investigadores en didáctica y lleva a plantear si tiene sentido hablar de una concepción correcta de la ciencia. Existen, sin embargo, algunos aspectos esenciales en los que se da un amplio consenso y que podemos resumir así:

1. En primer lugar hemos de referirnos al **rechazo de la idea misma de "Método Científico"**, con mayúsculas, como conjunto de reglas perfectamente definidas a aplicar mecánicamente e independientes del dominio investigado. Con palabras de Bunge (1980): "La expresión (*Método Científico*) es engañosa, pues puede inducir a creer que consiste en un conjunto de recetas exhaustivas e infalibles...".
2. En segundo lugar hay que resaltar el rechazo generalizado de lo que Piaget (1970) denomina "el mito del origen sensorial de los conocimientos científicos", es decir, el **rechazo de un empirismo que concibe los conocimientos como resultado de la inferencia inductiva a partir de "datos puros"**. Esos datos no tienen sentido en sí mismos, sino que requieren ser interpretados de acuerdo con un sistema teórico. Así, p.e., cuando se utiliza un amperímetro no se observa la intensidad de una corriente, sino la simple desviación de una aguja. Se insiste, por ello, en que toda investigación y la misma búsqueda de datos vienen marcadas por paradigmas teóricos, es decir, por visiones coherentes, articuladas, que orientan dicha investigación.

Es preciso insistir en la importancia de los paradigmas conceptuales, de las teorías, como origen y término del trabajo científico (Bunge 1976), en un proceso complejo que incluye eventuales rupturas, cambios revolucionarios del paradigma vigente en un determinado dominio y surgimiento de nuevos paradigmas teóricos. Y es preciso también insistir en que los problemas científicos constituyen inicialmente "situaciones problemáticas" confusas: el problema no viene dado, siendo necesario formularlo de manera precisa, modelizando la situación, haciendo determinadas opciones de cara a simplificarlo más o menos para poder abordarlo, clarificando el objetivo, etc. Y todo esto partiendo del corpus de conocimientos que se posee en el campo específico en que se realiza la investigación.

3. En tercer lugar hay que **resaltar el papel jugado en la investigación por el pensamiento divergente**, que se concreta en aspectos fundamentales y erróneamente relegados en los planteamientos empiristas, como son la invención de hipótesis y modelos, o el propio diseño de experimentos. No se razona, pues, en términos de certezas más o menos basadas en "evidencias", sino en términos de hipótesis, que se apoyan, es cierto, en los conocimientos adquiridos, pero que son contempladas como simples "tentativas de respuesta" que han de ser puestas a prueba lo más rigurosamente posible. Y si bien la obtención de evidencia experimental en condiciones definidas y controladas ocupa un lugar central en la investigación científica, es preciso relativizar dicho papel, que sólo cobra sentido con relación a la hipótesis a contrastar y a los diseños concebidos a tal efecto. En palabras de Hempel (1976), "al conocimiento científico

no se llega aplicando un procedimiento inductivo de inferencia a datos recogidos con anterioridad, sino más bien mediante el llamado método de las hipótesis a título de intentos de respuesta a un problema en estudio y sometiendo luego éstas a la contrastación empírica". Son las hipótesis, pues, las que orientan la búsqueda de datos. Unas hipótesis que, a su vez, nos remiten al paradigma conceptual de partida, poniendo de nuevo en evidencia el error de los planteamientos empiristas.

4. Otro punto fundamental es la **búsqueda de coherencia global** (Chalmers, 1990). El hecho de trabajar en términos de hipótesis introduce exigencias suplementarias de rigor: es preciso dudar sistemáticamente de los resultados obtenidos y de todo el proceso seguido para obtenerlos, lo que conduce a revisiones continuas, a intentar obtener esos resultados por caminos diversos y, muy en particular, a mostrar su coherencia con los resultados obtenidos en otras situaciones. Es necesario llamar aquí la atención contra las interpretaciones simplistas de los resultados de los experimentos y contra un posible "reduccionismo experimentalista": no basta con un tratamiento experimental para falsar o verificar una hipótesis; se trata sobre todo de la existencia, o no, de coherencia global con el marco de un corpus de conocimientos.

De hecho, uno de los fines más importantes de la ciencia estriba en la vinculación de dominios aparentemente inconexos. En efecto, en un mundo en el que lo primero que se percibe es la existencia de una gran diversidad de materiales y de seres, sometidos a continuos cambios, la ciencia busca establecer leyes y teorías generales que sean aplicables al estudio del mayor número posible de fenómenos. La teoría atómico molecular de la materia, la síntesis electromagnética, los principios de conservación y transformación, los esfuerzos que se realizan para unificar los distintos tipos de interacción existentes en la naturaleza, etc., son buenos ejemplos de esa búsqueda de coherencia y globalidad, aunque ello se deba realizar partiendo de problemas y situaciones particulares inicialmente muy concretas. El desarrollo científico, pues, entraña la finalidad de establecer generalizaciones aplicables a la naturaleza. Precisamente esa exigencia de aplicabilidad, de funcionamiento correcto para describir fenómenos, realizar predicciones, abordar y plantear nuevos problemas, etc., es lo que da validez (que no certeza o carácter de verdad indiscutible) a los conceptos, leyes y teorías que se elaboran.

5. Por último, es preciso **comprender el carácter social del desarrollo científico**, lo que se evidencia no sólo en el hecho de que el punto de partida del paradigma teórico vigente es la cristalización de las aportaciones de generaciones de investigadores, sino también en que la investigación responde cada vez más a estructuras institucionalizadas (Bernal, 1967; Kuhn, 1971; Matthews, 1991 y 1994) en las que la labor de los individuos es orientada por las líneas de investigación establecidas, por el trabajo del equipo del que forman parte, careciendo prácticamente de sentido la idea de investigación completamente autónoma. Más aún, el trabajo de los hombres y mujeres de ciencias –como cualquier otra actividad humana– no tiene lugar al margen de la sociedad en que viven, y se ve afectado, lógicamente, por los problemas y circunstancias del momento histórico, del mismo modo que su acción tiene una clara influencia sobre el medio físico y social en que se inserta. Señalar esto puede parecer superfluo; sin embargo, la idea de que hacer ciencia es poco menos que una tarea de "genios solitarios" que se encierran en una torre de marfil, desconectando de la realidad, constituye una imagen tópica muy extendida y que la enseñanza, lamentablemente, no ayuda a superar, dado que se limita a la transmisión de contenidos conceptuales y, a lo sumo, entrenamiento en alguna destreza, pero dejando de lado los aspectos históricos, sociales... que enmarcan el desarrollo científico.

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

Puede decirse, en síntesis, que la esencia de la orientación científica –dejando de lado toda idea de "método"– se encuentra en el cambio de un pensamiento y acción basados en las "evidencias"

del sentido común, a un razonamiento en términos de hipótesis, a la vez más creativo (es necesario ir más allá de lo que parece evidente e imaginar nuevas posibilidades) y más riguroso (es necesario fundamentar y después someter a prueba, cuidadosamente, las hipótesis, dudar de los resultados y buscar la coherencia global).

Es preciso tener presente, por otra parte, que una característica esencial de una aproximación científica es la voluntad explícita de simplificación y de control riguroso en condiciones preestablecidas, lo que introduce elementos de artificialidad indudables, que no deben ser ignorados ni ocultados: los científicos *deciden* abordar problemas resolubles y comienzan, para ello, *ignorando* consciente y voluntariamente muchas de las características de las situaciones estudiadas, lo que evidentemente les “aleja” de la realidad; y continúan alejándose mediante lo que, sin duda, hay que considerar la esencia del trabajo científico: la *invención* de hipótesis, la construcción de modelos *imaginarios*. El trabajo científico exige, pues, tratamientos analíticos, simplificadoros, artificiales. Pero ello no supone, como a veces se critica, incurrir necesariamente en visiones parcializadas y simplistas: en la medida en que se trata de análisis y simplificaciones conscientes, se tiene presente la necesidad de síntesis y de estudios de complejidad creciente. Pensemos, por ejemplo, que el establecimiento de la unidad de la materia –que constituye un claro apoyo a una visión global, no parcializada– es una de las conquistas mayores del desarrollo científico de los últimos siglos: los principios de conservación y *transformación* de la materia y de la energía fueron establecidos, respectivamente, en los siglos XVIII y XIX, y fue sólo a fines del XIX que se produjo la fusión de tres dominios aparentemente autónomos –electricidad, óptica y magnetismo– en la teoría electromagnética, abriendo un enorme campo de aplicaciones que sigue revolucionando nuestra vida diaria. Y no hay que olvidar que estos procesos de unificación han exigido, a menudo, actitudes críticas nada cómodas, que han tenido que vencer fuertes resistencias ideológicas e incluso persecuciones y condenas, como en los casos, bien conocidos, del heliocentrismo o del evolucionismo. La historia del pensamiento científico es una constante confirmación de que ésta es la forma de hacer ciencia, *profundizando* en el conocimiento de la realidad en campos definidos, acotados: es esta profundización la que permite, posteriormente, llegar a establecer lazos entre campos aparentemente desligados.

La idea de “método científico”, en resumen, ha perdido hoy sus mayúsculas, es decir, su supuesta naturaleza de camino preciso –conjunto de operaciones ordenadas– e infalible, así como su supuesta neutralidad. Ello no supone, sin embargo, negar lo que de específico ha aportado la ciencia moderna al tratamiento de los problemas: la ruptura con un pensamiento basado en estudios puntuales, en las “evidencias” del sentido común y en seguridades dogmáticas, introduciendo un razonamiento que se apoya en un sistemático cuestionamiento de lo obvio y en una exigencia de coherencia global que se ha mostrado de una extraordinaria fecundidad.

El análisis del texto anterior permite constatar, una vez más, que es perfectamente posible evitar las visiones deformadas que la enseñanza de las ciencias suele transmitir por acción u omisión. De hecho, estas actividades de análisis crítico y de elaboración de productos alternativos terminan de afianzar una concepción más adecuada de la ciencia, y permiten comprender que la extensión de las visiones deformadas es el resultado de la ausencia casi absoluta de reflexión epistemológica y de la aceptación acrítica de una enseñanza por simple transmisión de conocimientos ya elaborados que contribuye, como hemos ido mostrando, a afianzar dichas deformaciones. Basta, sin embargo, una reflexión crítica como la que estamos favoreciendo para apropiarse, con relativa facilidad, de concepciones de la actividad científica y tecnológica más adecuadas. Pero, ¿merece realmente la pena todo este esfuerzo de clarificación? Nos detendremos ahora en la consideración de sus implicaciones.

ALGUNAS IMPLICACIONES PARA LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS

Lograr una mejor comprensión de la actividad científica tiene, en sí mismo, un indudable interés, en particular para quienes somos responsables, en buena medida, de la educación científica de futuros ciudadanos de un mundo impregnado de ciencia y tecnología. Conviene recordar, sin embargo, que, como señalan Guilbert y Meloche (1993), “una mejor comprensión por los docentes de los modos de construcción del conocimiento científico (...) no es únicamente un debate teórico, sino eminentemente práctico”. Se trata, pues, de comprender la importancia práctica, para la docencia, del trabajo realizado y poder sacar un mayor provecho del mismo, preguntándonos *qué es lo que queremos potenciar* en el trabajo de nuestros alumnos y alumnas.

Propuesta de trabajo

Elaboremos una red o “parrilla” para orientar el diseño de actividades (o para facilitar su análisis), cuyos ítems recojan todos aquellos aspectos que consideremos conveniente contemplar para no caer en visiones distorsionadas de la ciencia que dificultan el aprendizaje y generan actitudes negativas.

El trabajo de clarificación realizado nos permite alejarnos de los habituales reduccionismos e incluir aspectos que no sólo son esenciales en una investigación científica, sino que resultan imprescindibles para favorecer un aprendizaje realmente significativo, no memorístico, de las ciencias (Ausubel, 1968). En efecto, como diversas líneas de investigación han mostrado, un aprendizaje significativo y duradero se ve facilitado por la participación de los estudiantes en la construcción de conocimientos científicos y su familiarización con las destrezas y actitudes científicas (Gil-Pérez, 1993), tales como los que se recogen, a modo de recapitulación, en el **cuadro 1**.

Cuadro 1.

Aspectos a incluir en un currículo de ciencias para favorecer la construcción de conocimientos científicos

1. ¿Se presentan **situaciones problemáticas abiertas** (con objeto de que los alumnos puedan tomar decisiones para precisarlas) de un nivel de dificultad adecuado (correspondiente a su *zona de desarrollo próximo*)?
 2. ¿Se plantea una reflexión sobre el posible **interés de las situaciones** propuestas que dé sentido a su estudio (considerando su relación con el programa general de trabajo adoptado, las posibles implicaciones CTSA...)?
- ¿Se presta atención, en general, a potenciar las actitudes positivas y a que el trabajo se realice en un **clima próximo a lo que es una investigación colectiva** (situación en la que las opiniones, intereses, etc., de cada individuo cuentan) y no en un clima de sometimiento a tareas impuestas por un profesor/“capataz”?

¿Se procura evitar toda discriminación (por razones étnicas, sociales...) y, en particular, el uso de un lenguaje sexista, transmisor de expectativas negativas hacia las mujeres?

3. ¿Se plantea un **análisis cualitativo**, significativo, que ayude a comprender y a acotar las situaciones planteadas (a la luz de los conocimientos disponibles, del interés del problema, etc.) y a formular preguntas operativas sobre lo que se busca?

¿Se muestra, por otra parte, el papel esencial de las matemáticas como instrumento de investigación, que interviene desde la formulación misma de problemas al análisis de los resultados, sin caer en operativismos ciegos?

4. ¿Se plantea la **emisión de hipótesis**, fundamentadas en los conocimientos disponibles, susceptibles de orientar el tratamiento de las situaciones y de hacer explícitas, funcionalmente, las preconcepciones?

¿Se presta atención a las **preconcepciones** (que, insistimos, deben ser contempladas como hipótesis)?

¿Se presta atención a la **actualización** de los conocimientos que constituyen **prerrequisitos** para el estudio emprendido?

5. ¿Se plantea la **elaboración de estrategias** (en plural), incluyendo, en su caso, diseños experimentales?

¿Se presta atención a la actividad práctica en sí misma (montajes, medidas...), dando a la **dimensión tecnológica** el papel que le corresponde en este proceso?

¿Se potencia la incorporación de la tecnología actual a los diseños experimentales (ordenadores, electrónica, automatización...), con objeto de favorecer una visión más correcta de la actividad científico-técnica contemporánea?

6. ¿Se plantea el **análisis detallado de los resultados** (su interpretación física, fiabilidad, etc.) a la luz del cuerpo de conocimientos disponible, de las hipótesis manejadas y/o de los resultados de otros equipos?

¿Se plantea una reflexión sobre los posibles conflictos entre algunos resultados y las concepciones iniciales (*conflictos cognitivos*), favoreciendo la "autorregulación" del trabajo de los alumnos?

¿Se promueve que los estudiantes cotejen su evolución conceptual y metodológica con la experimentada históricamente por la comunidad científica?

7. ¿Se plantea la consideración de posibles **perspectivas** (replanteamiento del estudio a otro nivel de complejidad, problemas derivados...)?

¿Se consideran, en particular, las **implicaciones CTSA** del estudio realizado (posibles aplicaciones, repercusiones negativas, toma de decisiones...)?

¿Se pide la elaboración de "productos" (prototipos, colecciones de objetos, carteles...) poniendo énfasis en la estrecha relación ciencia-tecnología?

8. ¿Se pide un **esfuerzo de integración** que considere la contribución del estudio realizado a la construcción de un cuerpo coherente de conocimientos, las posibles implicaciones en otros campos de conocimientos, etc.?

¿Se pide algún trabajo de construcción de síntesis, mapas conceptuales, etc., que ponga en relación conocimientos diversos?

9. ¿Se presta **atención a la comunicación** como aspecto esencial de la actividad científica?

¿Se plantea la elaboración de **memorias científicas** del trabajo realizado?

¿Se pide la lectura y comentario crítico de textos científicos?

¿Se presta atención a la verbalización, solicitando comentarios significativos que eviten el "operativismo mudo"?

10. ¿Se potencia la **dimensión colectiva del trabajo científico** organizando equipos de trabajo y facilitando la interacción entre los equipos y la comunidad científica (representada en la clase por el resto de los equipos, el cuerpo de conocimientos ya construido, los textos, el profesor como experto...)?

¿Se hace ver, en particular, que los resultados de una sola persona o de un solo equipo no pueden bastar para verificar o falsar una hipótesis?

¿Se contempla (y utiliza) el cuerpo de conocimientos disponible como la cristalización del trabajo realizado por la comunidad científica y la expresión del consenso alcanzado?

El enriquecimiento del currículo de enseñanza de las ciencias que refleja el cuadro 1 es un buen ejemplo de la incidencia positiva que puede tener la clarificación de la naturaleza de la ciencia. Pero contemplar estos aspectos supone mucho más que ampliar el currículo, incluyendo las dimensiones procedimental y axiológica (es decir, relativa a los valores) de la actividad científica, habitualmente olvidadas en la educación.

Propuesta de trabajo

¿Qué cambio radical en el proceso de enseñanza/aprendizaje de las ciencias puede generar la introducción del conjunto de aspectos señalados en el cuadro 1?

Podríamos decir que la incorporación de aspectos como los que recoge el cuadro 1 exige que el proceso de enseñanza/aprendizaje de las ciencias deje de estar basado en la transmisión por el profesor y libros de texto de conocimientos ya elaborados para su recepción/asimilación por los estudiantes. Partir de situaciones problemáticas abiertas, discutiendo su posible interés y relevancia, procediendo a aproximaciones cualitativas y a la construcción de soluciones tentativas, hipotéticas, destinadas a ser puestas a prueba y a integrarse, en su caso, en el cuerpo de conocimientos de que se parte, transformándolo, etc., supone *actuar como científicos*. Y ello, a su vez, exige un ambiente adecuado, en el que el profesor impulse y oriente esta actividad de los estudiantes, que de simples receptores pasan a jugar el papel de *investigadores noveles*, que cuentan con el apoyo del profesor como experto (Gil-Pérez et al., 1991).

En síntesis, no es posible superar la imagen reduccionista y distorsionada de la ciencia sin incorporar los aspectos que recoge el cuadro 1, y esa incorporación supone reorientar el trabajo de los estudiantes para aproximarlos a lo que es la actividad científica. Aunque las estrategias de *aprendizaje como investigación e innovación* orientadas aparecen sólidamente fundamentadas por una abundante investigación y suponen un claro avance respecto a las de simple *recepción* de conocimientos transmitidos por el profesor, su introducción tropieza con los lógicos temores que acompañan a las innovaciones radicales. Es preciso, pues, analizar con cuidado sus posibles limitaciones e inconvenientes.

 Propuesta de trabajo

Señalen posibles inconvenientes y dificultades de las estrategias que orientan el trabajo de los estudiantes como una construcción de conocimientos mediante la investigación de situaciones problemáticas de interés.

Una pregunta como ésta conduce a formular toda una serie de cuestiones que nos preocupan a los docentes, como las siguientes:

- Un aprendizaje como investigación, ¿no exigirá un tiempo excesivo? (¿no supone una pérdida de tiempo?).
- ¿Hasta qué punto los estudiantes pueden construir unos conocimientos que tanto tiempo y esfuerzo exigieron a notables científicos?
- ¿Por qué insistir en que los alumnos *hagan* ciencia? ¿No sería más razonable limitar los objetivos, en este nivel, al aprendizaje de algunos conocimientos científicos y a la comprensión de la naturaleza de la ciencia?
- ¿Por qué no aceptar una pluralidad de enfoques, con momentos de investigación en el laboratorio (a través de la lectura o de una buena conferencia)?
- ¿Una clase organizada en equipos no escapará al control del profesor? ¿No ahogará a las individualidades?
- ¿Tiene sentido pretender que un profesor o profesora posea todos los conocimientos que se necesitan para este tipo de enseñanza (y, en particular, para la elaboración de los programas de actividades que orienten la investigación)?

Es preciso discutir con cierto detenimiento estas cuestiones para salir al paso de lógicas reticencias. Por ejemplo, para muchos profesores “no tiene sentido suponer que los alumnos, por sí solos, puedan construir todos los conocimientos que tanto tiempo y esfuerzo exigieron de los más relevantes científicos”. Por supuesto, es difícil no estar de acuerdo en que los alumnos *por sí solos* (?) no pueden construir *todos* (?) los conocimientos científicos. Como señala Pozo (1987), “es bien cierto que muchos de los conceptos centrales de la ciencia son bastantes difíciles de descubrir para la mayor parte –si no para la totalidad– de los adolescentes e incluso de los adultos universitarios”. Sin embargo, de aquí no se sigue que se haya de recurrir necesariamente a la transmisión de dichos conocimientos ni que se haya de poner en cuestión las orientaciones constructivistas. En efecto, es bien sabido que cuando alguien se incorpora a un equipo de investigadores, rápidamente puede alcanzar el nivel del resto del equipo. Y ello **no** mediante una transmisión verbal, sino abordando problemas en los que quienes actúan de directores/formadores son expertos. La situación cambia, por supuesto, cuando se abordan problemas que son nuevos para todos. El avance –si lo hay– se hace entonces lento y sinuoso. La propuesta de organizar el aprendizaje de los alumnos, como una construcción de conocimientos responde a la primera de las situaciones, es decir, a la de una investigación dirigida, en dominios perfectamente conocidos por el “director de investigaciones” (profesor) y en la que los resultados parciales, embrionarios, obtenidos por los alumnos pueden ser reforzados, matizados o puestos en cuestión por los obtenidos por los científicos que les han precedido. No se trata, pues, de “engañar” a los alumnos, de hacerles creer que los conocimientos se construyen con la aparente facilidad con que ellos los adquieren (Hodson,

1985), sino de colocarles en una situación por la que los científicos habitualmente pasan durante su formación, y durante la que podrán familiarizarse mínimamente con lo que es el trabajo científico y sus resultados, replicando para ello investigaciones ya realizadas por otros, abordando, en definitiva, problemas conocidos por quienes dirigen su trabajo.

El aprendizaje de las ciencias ha de responder a estas características de investigación dirigida. Un trabajo de investigación en el que constantemente se cotejan los resultados de los distintos equipos y se cuenta con la inestimable ayuda de un experto. No creemos necesario insistir aquí en los bien conocidos y documentados argumentos en favor del trabajo en pequeños grupos como forma de incrementar el nivel de participación y la creatividad necesaria para abordar situaciones no familiares y abiertas (Ausubel, 1968; Solomon, 1987; Linn, 1987), como indudablemente son las concebidas para posibilitar la construcción de conocimientos. Sí queremos insistir, por el contrario, en la necesidad de favorecer la máxima interacción entre los grupos, a través de la cual los alumnos pueden asomarse a una característica fundamental del trabajo científico: la insuficiencia de las ideas y resultados obtenidos por un único colectivo y la necesidad de cotejarlos con los obtenidos por otros, hasta que se produzca suficiente evidencia convergente para que la comunidad científica los acepte. Nunca se insistirá bastante, en efecto, en que, por ejemplo, unos pocos resultados experimentales como los que se pueden obtener en un laboratorio escolar no permiten hablar de verificación de hipótesis (Hodson, 1985); de ahí la importancia de los intercambios intergrupos y la participación del profesor como “portavoz de otros muchos investigadores”, es decir, de lo que la comunidad científica ha ido aceptando como resultado de un largo y difícil proceso. En este sentido, estamos totalmente de acuerdo con Pozo (1987) cuando afirma que “de lo que se trata es que el alumno construya su propia ciencia ‘subido a hombros de gigantes’ y no de un modo autista, ajeno al propio progreso del conocimiento científico”. No pensamos, sin embargo, que ello se favorezca con “la integración de la enseñanza por descubrimiento y de la enseñanza receptiva” (Pozo, 1987), sino mediante un trabajo colectivo de investigación dirigida, tan alejado del descubrimiento autónomo como de la transmisión de conocimientos ya elaborados (Gil-Pérez, 1983; Millar y Driver, 1987).

Es preciso, pues, ir discutiendo las distintas dificultades o inconvenientes planteados. Así, con relación al tiempo “excesivo” que esta forma de trabajo puede conllevar, cabe reconocer que los programas de actividades han de estar diseñados para que los alumnos se impliquen en los problemas estudiados un tiempo superior al que permiten las estrategias de transmisión/recepción de conocimientos. Pero ese mayor tiempo, no sólo no representa un inconveniente, sino que constituye un factor esencial para que se produzca un auténtico aprendizaje. Se rompe así con la tendencia habitual consistente en programar explicaciones o actividades destinadas a lograr una “fácil comprensión” de los alumnos. Esa comprensión, muy a menudo, es tan sólo aparente y debe ser cuestionada introduciendo nuevas actividades que conduzcan al tratamiento de los problemas desde distintos ángulos con objeto de alcanzar una coherencia global. Dicho de otro modo, es preciso dar a la enseñanza –en contra de lo que suele hacerse– una aspiración científica que cuestione las apariencias de aprendizajes superficiales. Sólo así son concebibles los profundos cambios conceptuales y epistemológicos que el aprendizaje de las ciencias exige.

¿Y qué decir de la preocupación que expresa la pregunta de si tiene sentido pretender que un profesor o profesora posea todos los saberes que implica la orientación del trabajo de los alumnos como investigación? Por supuesto que ello es imposible, pero es la propia pregunta la que carece de sentido. En efecto, a ningún científico se le exige que posea el

conjunto de saberes y destrezas necesarios para el desarrollo científico. Del mismo modo, el trabajo docente tampoco es, o mejor dicho, no debería ser, una tarea aislada, y ningún profesor o profesora ha de sentirse oprimido por un conjunto de saberes que, con toda seguridad, sobrepasan las posibilidades de un ser humano. Lo esencial es que pueda darse un trabajo colectivo de investigación e innovación en todo el proceso de enseñanza/aprendizaje: desde la preparación de las clases a la evaluación. Ello tiene, por supuesto, sus exigencias en lo que respecta a la formación del profesorado y, más aún, en lo que se refiere a sus condiciones de trabajo; pero es algo absolutamente necesario si queremos que la enseñanza y el aprendizaje dejen de ser tareas monótonas y repetitivas, alejadas de toda creatividad.

De hecho, las investigaciones didácticas sobre las conocidas dificultades de muchos estudiantes ante el aprendizaje conceptual o la resolución de problemas de lápiz y papel han conducido, como veremos en los capítulos siguientes, a replanteamientos que son coherentes con la propuesta que aquí estamos avanzando de orientar el aprendizaje como una investigación de equipos de estudiantes con el apoyo del profesor como experto.

Pasaremos ahora, pues, en la segunda parte de este libro/taller, a desarrollar el modelo de aprendizaje de las ciencias que acabamos de esbozar, estudiando, en particular, cómo se integran, *transformándose*, las actividades “clásicas”: adquisición de conocimientos teóricos, resolución de problemas de lápiz y papel y realización de prácticas de laboratorio.

NOTA:

Este capítulo ha sido preparado a partir del siguiente trabajo:

GIL-PÉREZ, D., FERNÁNDEZ, I., VILCHES, A., CACHAPUZ, A., PRAIA, J., VALDÉS, P. y SALINAS, J. (2004). Questioning and Overcoming Distorted Views of Science: An Essential Requisite for The Renewal of Science Education. En W.F. McComas, (ed.), *The nature of science in science education. Rationales and strategies*, Netherlands, Kluwer Academic Publishers. (Segunda edición, pendiente de publicación).

Referencias bibliográficas en este capítulo

- ABRAMS, E. y WANDERSEE, J. H. (1995). How to infuse actual scientific research practices into science classroom instruction. *International Journal of Science Education*, 17(6), 683-694.
- ACEVEDO, J. A. (1996). La tecnología en las relaciones CTS. Una aproximación al tema. *Enseñanza de las Ciencias*, 14(1), 35-44.
- AUSUBEL, D. P. (1968). *Psicología Educativa. Un punto de vista cognoscitivo*. México: Trillas. Existe una nueva versión en la que han colaborado Novak y Hanesian: AUSUBEL, D. P. NOVAK, J. D. Y HANESIAN, H. (1978). *Educational psychology a cognitive view*. New York: Holt, Rinehart & Winston.
- BACHELARD, G. (1938). *La Formation de L'esprit scientifique*. Paris: Vrin.
- BELL, B. F., y PEARSON, J. (1992). Better Learning. *International Journal of Science Education*, 14(3), 349-361.
- BERNAL, J. D. (1967). *Historia Social de la Ciencia*. Barcelona: Península.
- BUNGE, M. (1976). *Filosofía de la Física*. Barcelona: Ariel.
- BUNGE, M. (1980). *Epistemología*. Barcelona: Ariel.
- BUNGE, M. (1997). *Ciencia, Técnica y Desarrollo*. Buenos Aires: Juárez Ed.
- BYBEE, R. (2000). Achieving Technological Literacy: A National Imperative. *The Technology Teacher*, September 2000, 23-28.
- CAJAS, F. (1999). Public Understanding of Science: Using technology to Enhance School Science in Everyday Life. *International Journal of Science Education*, 21(7), 765-773.
- CAJAS, F. (2001). Alfabetización científica y tecnológica: la transposición didáctica del conocimiento tecnológico. *Enseñanza de las Ciencias*, 19(2), 243-254.
- CHALMERS, A. F. (1990). *Science and its fabrication*. Minneapolis, MP: University of Minnesota Press.
- CLEMINSON, A. (1990). Establishing an epistemological base for science teaching in the light of contemporary notions of the nature of science and of how children learn science, *Journal of Research in Science Teaching*, 27(5), 429-445.
- DÉSAUTELS, J. y LAROCHELLE, M. (1998). The epistemology of students: The "thingified" nature of scientific knowledge. In Fraser B. y Tobin K. (Eds.), *International Handbook of Science Education*, London: Kluwer Academic Publishers.
- DÉSAUTELS, J., LAROCHELLE, M., GAGNÉ, B. y RUEL, F. (1993). La formation a l'enseignement des sciences: le virage épistémologique. *Didaskalia*, 1, 49-67.
- DE VRIES, M. (1996). Technology Education: Beyond the "Technology is Applied Science" Paradigm (Guest Article). *Journal of Technology Education*, 8(1), 7-15.
- DRIVER, R. y OLDHAM, V. (1986). A constructivist approach to curriculum development in science. *Studies in Science Education*, 13, 105-122.

- ESTANY, A. (1990). *Modelos de cambio científico*. Barcelona: Editorial Crítica.
- FERNÁNDEZ, I. (2000). Análisis de las concepciones docentes sobre la actividad científica: Una propuesta de transformación. Tesis Doctoral. Departament de Didàctica de les Ciències Experimentals. Universitat de València.
- FERNÁNDEZ, I., GIL-PÉREZ, D., CARRASCOSA, J., CACHAPUZ, J. y PRAIA, J. (2002). Visiones deformadas de la ciencia transmitidas por la enseñanza. *Enseñanza de las Ciencias*, 20(3), 477-488.
- FEYERABEND, P. (1975). *Against Method*. Londres: Verso. (Existe traducción al castellano en Madrid: Siglo XXI).
- FRASER, B. J. y TOBIN, K. G. (1998). *International Handbook of Science Education*. London: Kluwer Academic Publishers.
- GABEL, D. L. (1994). *Handbook of Research on Science Teaching and Learning*. New York: McMillan.
- GARDNER, P. L. (1994). Representations of the relationship between Science and Technology in the curriculum. *Studies in Science Education*, 24, 1-28.
- GASKELL, P. J. (1992). Authentic science and school science. *International Journal of Science Education*, 14(3), 265-272.
- GIERE, R. N. (1988). *Explaining Science. A cognitive approach*. Chicago: The University of Chicago Press.
- GIL-PÉREZ, D. (1983). Tres paradigmas básicos en la enseñanza de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 1(1), 26-33.
- GIL-PÉREZ, D. (1993). Contribución de la historia y la filosofía de las ciencias al desarrollo de un modelo de enseñanza/aprendizaje como investigación. *Enseñanza de las Ciencias*, 11(2), 197-212.
- GIL-PÉREZ, D., CARRASCOSA, J., DUMAS-CARRÉ, A., FURIÓ, C., GALLEGU, N., GENÉ, A., GONZÁLEZ, E., GUIASOLA, J., MARTÍNEZ, J., PESSOA, A., SALINAS, J., TRICÁRICO, H. y VALDÉS, P. (1999). ¿Puede hablarse de consenso constructivista en la educación científica? *Enseñanza de las Ciencias*, 17(3), 503-512.
- GIL-PÉREZ, D., CARRASCOSA, J., FURIÓ, C.; MARTÍNEZ TORREGROSA, J. (1991). *La enseñanza de las ciencias en la educación secundaria*. ICE/universidad de Barcelona. Barcelona: Horsori.
- GILBERT, J. K. (1992). The interface between science education and technology education. *International Journal of Science Education*. 14(5), 563-578.
- GILBERT, J. K. (1995). Educación tecnológica: una nueva asignatura en todo el mundo. *Enseñanza de las Ciencias*, 13(1), 15-24.
- GIORDAN, A. (1978). Observation-Expérimentation: mais comment les élèves apprennent-ils? *Revue Française de Pédagogie*, 44, 66-73. Traducción española en *Infancia y Aprendizaje*, 1978, número 13.
- GUILBERT, L. y MELOCHE, D. (1993). L'idée de science chez des enseignants en formation: un lieu entre l'histoire des sciences et l'hétérogénéité des visions? *Didaskalia*, 2, 7-30.
- HACKING, I. (1983). *Representing and Intervening*. Cambridge, M. A.: Cambridge University Press. Traducción de S. García (1996): *Representar e intervenir*. Seminario de Problemas Científicos y Filosóficos, UNAM; Instituto de Investigaciones Filosóficas, México D. F.: UNAM/ Paidós.
- HANSON, N. R. (1958). *Patterns of Discovery. An inquiry into the conceptual foundations of science*. Cambridge, MA: Cambridge University Press. Traducción de E. García Camarero (1977): *Patrones de descubrimiento. Investigación de las bases conceptuales de la ciencia*. Madrid: Alianza.
- HEMPEL, C. G. (1976). *Filosofía de la ciencia natural*. Madrid: Alianza.
- HEWSON, P. W., KERBY, H. W. y COOK, P. A. (1995). Determining the conceptions of teaching science held by experienced high school science teachers. *Journal of Research in Science Teaching*, 32(5), 503-520.

- HILL, A. (1998). Problem Solving in Real-Life contexts: An Alternative for Design in Technology Education. *International Journal of Technology and Design Education*, 8, 203-220.
- HODSON, D. (1985). Philosophy of science, science and science education. *Studies in Science Education*, 12, 25-57.
- HODSON, D. (1992). In search of a meaningful relationship: an exploration of some issues relating to integration in science and science education. *International Journal of Science Education*, 14(5), 541-566.
- HODSON, D. (1993). Philosophy stance of secondary school science teachers, curriculum experiences and children's understanding of science: some preliminary findings. *Interchange*, 24 (1/2) 41-52.
- HODSON, D. (1994). Seeking Directions for Change. The Personalization and Politisation of Science Education. *Curriculum Studies*, 2(1), 71-98.
- IZQUIERDO, M., SANMARTÍ, N. y ESPINET, M. (1999). Fundamentación y diseño de las prácticas escolares de ciencias experimentales. *Enseñanza de las Ciencias*, 17(1), 45-59.
- JIMÉNEZ ALEIXANDRE, M. P. (1995). La formación del profesorado de ciencias y matemáticas en España y Portugal. *Publicación del Departamento de Didáctica de las Ciencias*. Universidad de Extremadura.
- KING, B. B. (1991). Beginning Teachers Knowledge of and Attitude Towards History and Philosophy of Science. *Science Education*, 75(1), 135-141.
- KUHN, T. S. (1971). *La estructura de las revoluciones científicas*. México: Fondo de Cultura Económica.
- LAKATOS, I. (1982). *Historia de la ciencia y sus reconstrucciones racionales*. Madrid: Tecnos.
- LAKATOS, I. (1989). *La metodología de los programas de investigación científica*. Madrid: Alianza Editorial.
- LAKIN, S. y WELLINGTON, J. (1994). Who will teach the "nature of science"? Teachers view of science and their implications for science education. *International Journal of Science Education*, 16(2), 175-190.
- LANGÉVIN, P. (1926). La valeur éducative de l'histoire des sciences. *Bulletin de la Société Française de Pédagogie*, 22. Décembre 1926.
- LAUDAN, L. (1984). *Science and values: the aims of science and their role in the scientific debate*. Berkeley: University of California Press.
- LINN, M. C. (1987). Establishing a research base for science education: challenges, trends and recommendations. *Journal of Research in Science Teaching*, 24(3), 191-216.
- LÓPEZ CUBINO, R. (2001). *El área de Tecnología en Secundaria*. Madrid: Narcea.
- MAIZTEGUI, A., ACEVEDO, J. A., CAAMAÑO, A., CACHAPUZ, A., CAÑAL, P., CARVALHO, A. M. P., DEL CARMEN, L., DUMAS CARRÉ, A., GARRITZ, A., GIL-PÉREZ, D., GONZÁLEZ, E., GRAS-MARTÍ, A., GUIASOLA, J., LÓPEZ-CEREZO J. A., MACEDO, B., MARTÍNEZ TORREGROSA, J., MORENO, A., PRAIA, J., RUEDA, C., TRICÁRICO, H., VALDÉS, P. y VILCHES, A. (2002). Papel de la tecnología en la educación científica: una dimensión olvidada. *Revista Iberoamericana de Educación*, 28, 129-155.
- MATTHEWS, M. R. (1991). Un lugar para la historia y la filosofía en la enseñanza de las ciencias. *Comunicación, Lenguaje y Educación*, 11-12, 141-155.
- MATTHEWS, M. R. (1994). Historia, filosofía y enseñanza de las ciencias: la aproximación actual. *Enseñanza de las Ciencias*, 12(2), 255-277.
- MCCOMAS, W. F. (1998). The nature of science in science education. Rationales and In W. F. McComas (E.d.), *The nature of science in science education. Rationales and strategies*. Netherlands: Kluwer Academic Publishers.

- MEDWAY, P. (1989). Issues in the theory and practice of technology education. *Studies in Science Education*, 16, 1-24.
- MILLAR, R. y DRIVER, R. (1987). Beyond processes. *Studies in Science Education*, 14, 33-62.
- MITCHAM, C. (1989). *¿Qué es la filosofía de la tecnología?* Barcelona: Anthropos-Servicio Editorial del País Vasco.
- MORENO, A. (1988). *Aproximación a la física. Una historia de visionarios, rebeldes y creadores.* Madrid: Mondadori.
- MOSTERÍN J. (1990). Prólogo al libro de Estany A., *Modelos de cambio científico.* Barcelona: Crítica.
- NIINILUOTO, I. (1997). Ciencia frente a Tecnología: ¿Diferencia o identidad? *Arbor*, 620, 285-299.
- NUSSBAUM, J. (1989). Classroom conceptual change: philosophical perspectives. *International Journal in Science Education*, (11), Special Issue, 530-540.
- PERALES, F. J. y CAÑAL, P. (2000). *Didáctica de las ciencias experimentales. Teoría y práctica de la enseñanza de las ciencias.* Alcoy: Marfil.
- PIAGET, J. (1970). *La epistemología genética.* Barcelona: Redondo.
- POMEROY, D. (1993). Implications of teachers' beliefs about the nature of science: Comparison of the beliefs of scientists, secondary science teachers, and elementary teachers. *Science Education*, 77(3), 261-278.
- POPPER, K. R. (1962). *La lógica de la investigación científica.* Madrid: Tecnos.
- POZO, J. I. (1987). *Aprendizaje de la ciencia y pensamiento causal.* Madrid: Visor.
- QUINTANILLA, M. A. y SÁNCHEZ RON, J. M. (1997). *Ciencia, Tecnología y Sociedad.* Madrid: Santillana.
- RODRÍGUEZ, G. D. (1998). Ciencia, Tecnología y Sociedad: Una mirada desde la educación en Tecnología. *Revista Iberoamericana de Educación*, 18, 107-143.
- ROTH, W. M. y LUCAS, K. B. (1997). From "Truth" to "Invented Reality": A Discourse Analysis of High School Physics Students' Talk about Scientific Knowledge. *Journal of Research in Science Teaching*, Vol. 34(2), 145-179.
- ROTH, W. M. y ROYCHONDHURY, A. (1994). Students' Epistemologies and Views about Knowing and Learning. *Journal of Research in Science Teaching*, 31(1), 5-30.
- SÁNCHEZ RON, J. M. (1994). ¿El conocimiento científico prenda de felicidad? En Nadal J. (Ed.), *El mundo que viene*, 221- 246. Madrid: Alianza.
- SALTIEL, E. y VIENNOT, L. (1985). ¿Qué aprendemos de las semejanzas entre las ideas históricas y el razonamiento espontáneo de los estudiantes? *Enseñanza de las Ciencias*, 3(2), 137-144.
- SELLEY, N. J. (1989). The philosophy of school science. *Interchange*, 20(2), 24-32.
- SOLBES, J. y VILCHES, A. (1997). STS interactions and the teaching of Physics and Chemistry. *Science Education*, 81(4), 377-386.
- SOLBES, J. y VILCHES, A. (1998). Las interacciones CTS en los nuevos textos de secundaria. En Banet, E. y De Pro, A. (Coords.), *Investigación e Innovación en la Enseñanza de las Ciencias*, Vol. 1, 142-147. Murcia: D. M.
- SOLOMON, J. (1987). Social influences on the construction of pupils' understanding of science. *Studies in Science Education*, 14, 63-82.
- SOLOMON, J., DUVEEN, J. y SCOTT, L. (1994). Pupils' images of scientific epistemology. *International Journal of Science Education*, 16(3), 361-373.

STINNER, A. (1992). Science textbooks and science teaching: from logic to evidence. *Science Education*, 76(1), 1-16.

THOMAZ, M. F., CRUZ, M. N., MARTINS, I. P. y CACHAPUZ, A. F. (1996). Concepciones de futuros profesores del primer ciclo de primaria sobre la naturaleza de la ciencia: Contribuciones de la formación inicial. *Enseñanza de las Ciencias*, 14(3), 315-322.

TOULMIN, S. (1977). *La comprensión humana. I: El uso colectivo y la evolución de los conceptos*. Madrid: Alianza.

TRAVER, M. J. (1996). La història de les ciències en l'ensenyament de la Física i la Química. Tesis Doctoral. Departament de Didàctica de les Ciències Experimentals. Universitat de València, 1996.