

El olvido de la tecnología como refuerzo de las visiones deformadas de la ciencia

Isabel Fernández¹, Daniel Gil¹, Amparo Vilches¹, Pablo Valdés²,
António Cachapuz³, João Praia⁴ y Julia Salinas⁵

¹Universitat de València, España. ²Instituto Superior Pedagógico de La Habana, Cuba. ³Universidade de Aveiro, Portugal. ⁴Universidade de Porto, Portugal. ⁵Universidad de Tucumán, Argentina.

Resumen: En este trabajo pretendemos mostrar cómo el olvido del papel de la tecnología en el desarrollo científico, puede reforzar una imagen ingenua y distorsionada de la ciencia a la que la propia educación científica contribuye por acción u omisión.

Palabras clave: naturaleza de la ciencia y la tecnología; relaciones CTS; concepciones docentes; alfabetización científica y tecnológica.

Title: The oblivion of technology as a reinforcement of the distorted views of science

Abstract: In this paper we try to show how the oblivion of the role played by technology in the construction of scientific knowledge may contribute to a naïve and distorted view of science that science education itself reinforces.

Keywords: nature of science and technology, STS relationships, teachers' conceptions, scientific and technological literacy.

Introducción

En un trabajo reciente (Fernández et al., 2002) se ha intentado mostrar que un buen punto de partida para acercarnos a la naturaleza de la actividad científica, es decir, para comprender cómo se construyen y evolucionan los conocimientos científicos, puede ser reflexionar sobre las visiones deformadas acerca de la naturaleza de la ciencia y de la actividad científica que la misma enseñanza de las ciencias está transmitiendo. Este esfuerzo de análisis crítico puede ayudar, pensamos, a cuestionar concepciones y prácticas asumidas por impregnación ambiental, como algo "natural" y a aproximarse a concepciones epistemológicas más adecuadas que, si son debidamente reforzadas, pueden incidir positivamente sobre la enseñanza.

Dos han sido, básicamente, las estrategias utilizadas para sacar a la luz las deformaciones en las que puede incurrir la imagen de la actividad científica proporcionada por la enseñanza de la ciencia. Por una parte, se ha procedido –en el contexto de talleres sobre la naturaleza de la ciencia y su papel en la enseñanza– a colocar a equipos de profesores *en situación de investigadores* que han de estudiar y analizar críticamente las concepciones docentes sobre la ciencia. Una actividad básica en ese proceso ha consistido

en solicitar a los equipos una enumeración –a título de primera conjetura, basada en una reflexión crítica sobre la práctica docente que les es familiar– de cuáles podrían ser las deformaciones en las que la enseñanza de las ciencias estaría incurriendo por acción u omisión. La hipótesis que subyace en el planteamiento de esta actividad ha sido que, al crearse una situación de investigación colectiva, debidamente orientada, los profesores podemos distanciarnos críticamente de nuestras concepciones y prácticas habituales, fruto, insistimos, de una impregnación ambiental que no habíamos tenido ocasión de analizar y valorar y cuya incidencia está recibiendo una creciente atención¹. Dicho de otra forma, nuestra hipótesis ha sido que esta reflexión colectiva de distintos equipos docentes iba a proporcionar resultados coherentes y valiosos para conocer posibles deformaciones de la naturaleza de la ciencia a las que habría que prestar atención.

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.

Una segunda estrategia utilizada para conocer estas posibles deformaciones de lo que es hacer ciencia ha consistido en analizar artículos sobre educación científica relacionados con la naturaleza de la ciencia y buscar en los mismos referencias a posibles errores y simplismos en la forma en que la enseñanza de la ciencia presenta dicha naturaleza. Se ha procedido, pues, a analizar decenas de artículos aparecidos en las décadas de los ochenta y de los noventa en revistas como *Science Education*, *International Journal of Science Education*, *Journal of Research in Science Teaching*, *Enseñanza de las Ciencias*, etc., así como trabajos recogidos en el *International Handbook of Science Education*, editado por Fraser y Tobin (1998) y en una recopilación de McComas (1998) con el título *The nature of science in science education. Rationales and strategies*.

Los resultados de este análisis bibliográfico 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 refuerza nuestra hipótesis acerca de la efectividad de una reflexión de los docentes, para aproximarnos a una imagen más correcta de la actividad científica, tomando en consideración estas deformaciones, es decir, tratando explícitamente de no incurrir en las mismas ni por acción ni por omisión.

En este trabajo pretendemos profundizar este estudio precedente, mostrando cómo el olvido del papel de la tecnología en el desarrollo científico, algunas de cuyas consecuencias negativas hemos analizado en

¹Algunas referencias a la importancia de las concepciones docentes Brickhouse (1989) y (1990); Dushl y Wright (1989); Porlán (1989); Cleminson (1990); Burbules y Linn (1991); Gallagher (1991); Loving (1991); Briscoe (1991) y (1993); Brickhouse y Bodner (1992); Gaskell (1992); Linder (1992); Désautels et al. (1993); Carrascosa et al. (1993); Guilbert y Meloche (1993); Hodson (1993); Pomeroy (1993); Rubba y Harkness (1993); Ruggieri, Tarsitani y Vicentini (1993); Acevedo (1994); Lakin y Wellington (1994); Abrams y Wandersee (1995); Cachapuz (1995); Fernández y Orozco (1995); Hewson, Kerby y Cook (1995); Koulaidis, y Ogborn (1995); Hashweeh (1996); Mellado (1996), (1997) y (1998); Thomaz et al. (1996); Briscoe y Peters (1997); Botton y Brown (1998); Désautels y Laroche (1998a); McComas (1998a); Paixão y Cachapuz (1998) y (1999); Porlán y Rivero (1998); Sutton (1998); Lemberger, Hewson y Park (1999).

otro lugar (Maiztegui et al., 2002), contribuye a reforzar un conjunto de deformaciones *estrechamente relacionadas*, que expresan, en 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.

Expondremos a continuación dichas deformaciones resaltando, en particular, el papel que juega en las mismas el olvido o el tratamiento superficial de las relaciones ciencia-tecnología.

Una visión descontextualizada

Nos referiremos, en primer lugar, a una deformación criticada por *todos* los equipos docentes implicados en este esfuerzo de clarificación y por una abundante literatura²: la transmisión de una visión descontextualizada, socialmente neutra de la ciencia que ignora, o tiene en cuenta muy superficialmente, las complejas relaciones CTS, Ciencia-Tecnología-Sociedad o, más exactamente, 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.

Esta visión comporta, muy en particular, una consideración superficial de la tecnología, como mera aplicación de los conocimientos científicos, ignorando totalmente su papel en el proceso de construcción de dichos conocimientos. Sin embargo, como hemos mostrado en otro lugar (Maiztegui et al., 2002), es relativamente fácil cuestionar esta visión simplista de las relaciones ciencia-tecnología: basta reflexionar brevemente sobre el desarrollo histórico de ambas para comprender que la actividad técnica ha precedido en milenios a la ciencia. Se puede comenzar a romper, así, 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, que refuerza el supuesto carácter neutral, ajeno a intereses y conflictos sociales, del binomio ciencia-tecnología.

Ahora bien, lo más importante es clarificar lo que la educación científica de todas las personas 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 estamos 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

²Trabajos que se refieren a la visión descontextualizada de la actividad científica

Aikenhead (1984); Gagliardi y Giordan (1986); Brush (1989); Cleminson (1990); García Cruz (1991); Gaskell (1992); Hodson (1992a) y (1992b); Linder (1992); Carrascosa et al. (1993); Gil (1993); Guillbert y Meloche (1993); Rubba y Harkness (1993); Ruggieri, Tarsitani y Vicentini (1993); Acevedo (1994); Brickhouse (1994); Furió (1994); Gil (1994a); Abrams y Wandersee (1995); Fernández y Orozco (1995); Orozco y Fernández (1995); Gil (1996); Thomaz et al. (1996); Campos y Cachapuz (1997); Matthews (1997); Boersema (1998); Cobern y Loving (1998); Dawkins y Glatthorn (1998); Lederman y Abd-El-Khalick (1998); Matson y Parsons (1998); McComas (1998a y 1998b); McComas y Olson (1998); McComas (1998); Meichtry (1998); Nott y Wellington (1998); Paixão y Cachapuz 1998; Porlán y Rivero, (1998); Spector, Strong y Laporta (1998); Sutton (1998); Izquierdo, Sanmartí y Espinet (1999).

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.

Lo que sí es importante destacar, por el contrario, son algunos aspectos de las relaciones ciencia-tecnología, con objeto de evitar visiones deformadas que empobrecen la educación científica y tecnológica. Así, 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, ya que interesa resolver cuestiones específicas, no construir un cuerpo de conocimientos, y más complejo, puesto que no es posible trabajar en condiciones 'ideales'. Para la tecnología 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 puesto que 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). 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. De esta forma, se pierde 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.

Cabe señalar que la falta de atención a la tecnología afecta también, en general, a las propuestas de incorporación de la dimensión CTSA. En efecto, dichas propuestas se han centrado en promover la necesaria contextualización de la actividad científica a través de la discusión de la relevancia de los problemas abordados, del estudio de sus aplicaciones y de la responsabilidad relacionada con las posibles repercusiones (lo que obliga a la toma de decisiones), pero no suelen contemplar 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 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. 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.

Cabe señalar, sin embargo, que estas concepciones simplistas de exaltación o de rechazo absoluto de la ciencia son minoritarias. Lo más frecuente es que se incurra en 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 imagen descontextualizada se ve reforzada, pues, por las concepciones individualistas y elitistas de la ciencia.

Una concepción individualista y elitista

Junto a la visión descontextualizada que acabamos de analizar, y a la que está estrechamente ligada, ésta es otra de las deformaciones más frecuentemente señaladas por los equipos docentes, y también más tratadas en la literatura³. Los conocimientos científicos aparecen como obra de genios aislados, por encima "del bien y del mal" y ajenos a la necesaria toma de decisiones, ignorándose el papel del trabajo colectivo, de los

³Trabajos en los que se critica la visión individualista y elitista de la ciencia

Aikenhead (1984); Gagliardi y Giordan (1986); Penick y Yager (1986); Cleminson (1990); Hodson (1992a) y (1992b); Newton y Newton (1992); Stinner (1992); Carrascosa et al. (1993); Gil (1993); Guilbert y Meloche (1993); Ruggieri, Tarsitani y Vicentini (1993); Brickhouse (1994); Furió (1994); Gil (1994a); Lakin y Wellington (1994); Tobin, Tippins y Hook (1994); Abrams y Wandersee (1995); Fernández y Orozco (1995); Hewson, Kerby y Cook (1995); Orozco y Fernández (1995); Gil (1996); Thomaz et al. (1996); Matthews (1997); Roth y Lucas (1997); Boersema (1998); Cobern y Loving (1998); Dawkins y Glatthorn (1998); Hammerich (1998); Lederman y Abd-El-Khalick (1998); Matson y Parsons (1998); McComas (1998a y 1998b); McComas y Olson (1998); Meichtry (1998); Nott y Wellington (1998); Porlán y Rivero, (1998); Spector, Strong y La Porta (1998); Sutton (1998).

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, con claras discriminaciones de naturaleza social y sexual. En particular, 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 también a esta visión individualista y elitista, ya que, 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. Conectamos así 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.

Una concepción empiro-inductivista y ateórica

Se trata de la deformación más ampliamente señalada en la literatura. Una concepción que resalta el papel de la observación y de la experimentación "neutras", "no contaminadas por ideas apriorísticas", e incluso del puro azar, olvidando el papel esencial de las hipótesis como focalizadoras de la investigación y de los cuerpos coherentes de conocimientos disponibles, que orientan todo el proceso.

Numerosos estudios han mostrado las discrepancias entre la visión 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...).

Estas concepciones empiro-inductivistas de la ciencia afectan a los mismos científicos –pues, como explica Mosterín (1990) sería ingenuo pensar que “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, 1998b). 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.

Es importante señalar que aunque ésta es la deformación más estudiada y criticada en la literatura, tanto en la década de los años setenta como en el periodo 1984-1998 analizado (con más de 60 trabajos que hacen referencia a la misma⁴, 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 se ha podido percibir en entrevistas realizadas a profesores en activo (Fernández, 2000).

Esta falta de trabajo experimental tiene posiblemente como una de sus causas, una vez más, la escasa familiarización de los profesores con la

⁴Trabajos en los que se critica la visión empiro-inductivista y ateórica de la ciencia

Nadeau y Désautels (1984); Hodson (1985 y 1992a); Otero (1985); Giordan y De Vecchi (1987); Gould (1987); Selley (1989); Brickhouse (1989, 1990 y 1994); Jacoby y Spargo (1989); Cleminson (1990); Koballa, Crawley y Shrigley (1990); Burbules y Linn (1991); Gallagher (1991); King (1991); Loving (1991); Matthews (1991); Solomon (1991); Gaskell (1992); Lederman (1992); Linder (1992); Stinner (1992); Tobin, Tippins y Gallard (1994); Carrascosa et al. (1993); Désautels et al. (1993); Gil (1993 y 1994a); Guilbert y Meloche (1993); Hodson (1993); Pomeroy (1993); Rubba y Harkness (1993); Ruggieri, Tarsitani y Vicentini (1993); Acevedo (1994); Duschl (1994); Furió (1994); Lakin y Wellington (1994); Roth y Roychoudhury (1994); Solomon, Duveen y Scott (1994); Tobin, Tippins y Hook, (1994); Fernández y Orozco (1995); Hewson, Kerby y Cook (1995); Jiménez (1995); Koulaïdis y Ogborn (1995); Orozco y Fernández (1995); Gil (1996); Hashweeh (1996); Thomaz et al. (1996); Campos y Cachapuz (1997); Boersema (1998); Cobern y Loving (1998); Dawkins y Glatthorn (1998); Hammerich (1998); Lederman y Abd-El-Khalick (1998); Matson y Parsons (1998); McComas (1998a y 1998b); McComas y Olson (1998); McComas (1998); Meichtry (1998); Nott y Wellington (1998); Paixão y Cachapuz (1998); Porlán y Rivero (1998); Spector, Strong y La Porta (1998); Sutton (1998); Izquierdo, Sanmartí y Espinet (1999).

dimensión tecnológica y viene, a su vez, a reforzar las visiones simplistas sobre las relaciones ciencia-tecnología a que hemos hecho referencia en el apartado 1. En efecto, el trabajo experimental puede ayudar a comprender que, como señalábamos, 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*, y de lo que suponen, es ya utilizar un lenguaje asociado al ámbito 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'.

Así, por ejemplo, cuando 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 deslizarse 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 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, por ejemplo, el papel de las lentes en la investigación astronómica. La tecnología está *siempre* en el corazón de la actividad científica y la expresión *diseño* experimental es perfectamente ilustrativa a este respecto.

Desafortunadamente, las escasas prácticas de laboratorio escolares no permiten a los estudiantes, incluso en la Universidad, comprender lo que

supone el diseño de experimentos adecuados para someter a prueba las hipótesis, 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 solo 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.

Una visión rígida, algorítmica, infalible...

Analizamos, a continuación, una deformación ampliamente recogida en la literatura (cerca de 40 artículos en el periodo estudiado⁵) que presenta el "Método Científico" como un conjunto de etapas a seguir mecánicamente, resaltando lo que supone tratamiento cuantitativo, control riguroso, etc., y olvidando –o, incluso, rechazando– todo lo que significa duda, invención, creatividad,... cualidades estrechamente asociadas al trabajo científico y al tecnológico.

Se trata de una concepción ampliamente asumida por el profesorado de ciencias, como hemos podido constatar utilizando diversos diseños (Fernández, 2000). Así, en las entrevistas que hemos mantenido con profesores, una mayoría se ha referido 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. Dicha concepción se pone particularmente en evidencia en lo que respecta a la evaluación del aprendizaje. Como afirma Hodson (1992b), la preocupación obsesiva por evitar la ambigüedad y asegurar la fiabilidad de las evaluaciones, distorsiona la naturaleza misma del trabajo científico, esencialmente difuso, incierto, intuitivo... Ello es particularmente cierto en lo que se refiere al trabajo experimental, en el que, como hemos visto, la tecnología juega un papel esencial y se precisa resolver muchos problemas inesperados para lograr el correcto funcionamiento de los diseños experimentales. La evaluación debería tener en cuenta dicha ambigüedad, no intentar eliminarla.

Hay que señalar que ésta sí es una deformación ampliamente criticada por los equipos docentes cuando analizan críticamente la enseñanza habitual de las ciencias, hasta el punto de que algunos, al rechazar esta visión rígida y dogmática de la ciencia, hacen suyo un *relativismo* extremo. Un relativismo tanto metodológico –"todo vale", no hay estrategias

⁵Trabajos que mencionan la visión rígida (algorítmica, exacta, infalible,...)

Aikenhead (1984); Hodson (1985); Porlán (1989); Gallagher (1991); Gaskell (1992); Hodson (1992a y 1992b); Linder (1992); Tobin, Tippins y Gallard (1994); Carrascosa et al. (1993); Gil (1993); Guilbert y Meloche (1993); Hodson (1993); Acevedo (1994); Brickhouse (1994); Furió (1994); Gil (1994a); Lakin y Wellington (1994); Pedrinaci (1994); Solomon, Duveen y Scott (1994); Tobin, Tippins y Hook (1994); Fernández y Orozco (1995); Orozco y Fernández (1995); Gil (1996); Hashweeh (1996); Thomaz et al. (1996); Boersema (1998); Cobern y Loving (1998); Dawkins y Glatthorn (1998); Hammerich (1998); Lederman y Abd-El-Khalick (1998); Matson y Parsons (1998); McComas (1998a y 1998b); McComas y Olson (1998); Meichtry (1998); Nott y Wellington (1998); Paixão y Cachapuz (1998); Porlán y Rivero (1998); Spector, Strong y La Porta (1998); Sutton (1998).

específicas en el trabajo científico (Feyerabend, 1989)– como conceptual: no hay una realidad objetiva que permita contrastar la validez de las construcciones científicas; la *única* base en la que se apoya el conocimiento es el consenso de la comunidad de investigadores en ese campo. Se trata de un relativismo próximo a las tesis del constructivismo radical (Glaserfeld, 1989) que ha merecido serias críticas (Suchting, 1992; Izquierdo, Sanmartí y Espinet, 1999).

La concepción dominante, sin embargo, es la algorítmica, que, como la empiro-inductivista en la que se apoya, olvidando, como señalábamos, la dimensión tecnológica, puede mantenerse en la medida 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.

Una visión aproblemática y ahistórica (ergo acabada y dogmática)

El hecho de transmitir conocimientos ya elaborados, conduce muy a menudo a ignorar cuáles fueron los problemas que se pretendía resolver, cuál ha sido la evolución de dichos conocimientos, las dificultades encontradas, etc., así como a no tener en cuenta las limitaciones del conocimiento científico actual o las perspectivas abiertas. Se pierde así de vista que, como afirma Bachelard (1938), "todo conocimiento es la respuesta a una cuestión", a un problema.

Se trata de una concepción que la enseñanza de la ciencia refuerza *por omisión*: los profesores de ciencias, tanto al ser entrevistados como cuando resuelven distintos tipos de cuestiones relativas a la forma de introducir los conocimientos científicos, no hacen referencia a los problemas que están en el origen de la construcción de dichos conocimientos y lo mismo se aprecia en los libros de texto (Fernández, 2000). Más de 35 artículos se refieren a esta concepción⁶, que es también criticada frecuentemente por los equipos docentes.

Queremos insistir, una vez más, en la estrecha relación existente entre las deformaciones contempladas hasta aquí. Esta visión aproblemática 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.

⁶Trabajos que incluyen referencias relativas a la visión aproblemática y ahistórica (ergo dogmática y cerrada) Otero (1985); Gagliardi y Giordan (1986); Giordan y De Vecchi (1987); Porlán (1989); Cleminson (1990); Koballa, Crawley y Shrigley (1990); García Cruz (1991); Linder (1992); Stinner (1992); Tobin, Tippins y Gallard, (1994); Carrascosa et al. (1993); Gil (1993); Guilbert y Meloche (1993); Acevedo (1994); Brickhouse (1994); Furió (1994); Gil (1994a); Lakin, y Wellington (1994); Pedrinaci (1994); Roth y Roychoudhury (1994); Solomon, Duveen y Scott (1994); Tobin, Tippins y Hook (1994); Abrams y Wandersee (1995); Fernández y Orozco (1995); Orozco y Fernández (1995); Gil (1996); Hashweeh (1996); Thomaz et al. (1996); Campos y Cachapuz (1997); Boersema (1998); Dawkins y Glatthorn (1998); Matson y Parsons (1998); McComas (1998a y 1998b); McComas y Olson (1998); Meichtry (1998); Paixão y Cachapuz (1998); Porlán y Rivero (1998); Sutton (1998).

De hecho, el olvido de la dimensión tecnológica en la educación científica impregna la visión distorsionada de la ciencia, socialmente aceptada, que pretendemos aquí sacar a la luz, tratando 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).

Pero esta 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, está muy vinculada a otras dos deformaciones, que tienen en común olvidar la dimensión de la ciencia como construcción de cuerpos coherentes de conocimientos. Nos referimos a lo que hemos denominado visión 'exclusivamente analítica' y visión 'acumulativa, de crecimiento lineal' de los conocimientos científicos, que presentamos seguidamente, aunque no están directamente relacionadas con el olvido de la tecnología, porque este conjunto de distorsiones se apoyan mutuamente formando un marco conceptual de una cierta coherencia. Necesitamos, pues, analizar todas, con objeto de cuestionar el conjunto y hacer posible una visión más adecuada de la actividad científica.

Visión exclusivamente analítica

Es una deformación que apenas es mencionada por los equipos docentes y que ha sido escasamente tratada por la investigación (menos de una docena de artículos hacen alguna referencia a la misma⁷). Por supuesto, el análisis forma parte de las estrategias científicas: a menudo se necesita la parcelación inicial de los estudios, introducir simplificaciones..., pero es preciso no olvidar los esfuerzos posteriores de unificación y de construcción de cuerpos de conocimientos cada vez más amplios, o el tratamiento de problemas "puente" entre distintos campos de conocimiento que pueden llegar a unirse, como ha ocurrido tantas veces.

Se podría pensar que esta escasa atención a una deformación que nos parece particularmente grave sea debida a que las propuestas de tratamiento interdisciplinar e incluso de enseñanza integrada de las ciencias han sido ampliamente difundidas. Sin embargo, el olvido de los procesos de unificación como característica fundamental de la evolución de los conocimientos científicos constituye un auténtico obstáculo en la educación científica habitual. En efecto, se ha podido constatar (Fernández, 2000) que la mayoría de los profesores y de los libros de texto incurren, por omisión, en esta deformación, olvidando destacar, por ejemplo, la unificación que supuso la síntesis newtoniana de las mecánicas celeste y terrestre, rechazada durante más de un siglo con condenas a la obra de Copérnico o Galileo.

Cabe añadir, por otra parte, que las propuestas de enseñanza integrada incurren, a menudo, en un error de signo contrario al de la visión analítica,

⁷Trabajos en los que se presta atención a la visión exclusivamente analítica: Matthews (1991); Hodson (1992a); Carrascosa et al. (1993); Gil (1993); Furió (1994); Gil (1994a); Fernández y Orozco (1995); Orozco y Fernández (1995); Gil (1996); McComas y Olson (1998); Spector, Strong y La Porta (1998).

pero no menos grave, consistente en tomar la unidad de la materia como punto de partida evidente, olvidándose que el establecimiento de dicha unidad constituye una conquista reciente y nada fácil de la ciencia (Gil et al., 1991). Recordemos, por ejemplo, la fuerte oposición a las concepciones unitarias en Astronomía (heliocentrismo), Biología (evolucionismo) o en Química Orgánica (síntesis orgánica).

Visión acumulativa, de crecimiento lineal

Por último, nos referiremos brevemente a una deformación a la que tampoco suelen prestar atención los equipos docentes y que es la segunda menos mencionada en la literatura⁸ tras la visión exclusivamente analítica. Consiste en presentar el desarrollo científico como fruto de un crecimiento lineal, puramente acumulativo (Izquierdo, Sanmartí y Espinet 1999), que no tiene en cuenta el papel de la tecnología, ignorando las crisis y las remodelaciones profundas, fruto de procesos complejos que no se dejan ahormar 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 (ver apartado 4), 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 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).

Recapitulación

En los apartados anteriores hemos tratado de mostrar una síntesis de las siete 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, 2000).

Es necesario llamar la atención, una vez más, sobre el hecho de que 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. Por ejemplo, una visión individualista y elitista de la ciencia apoya implícitamente la idea empirista de "descubrimiento" y contribuye, además, a una lectura descontextualizada,

⁸Trabajos en los que se sale al paso de una visión meramente acumulativa, de crecimiento lineal, de los conocimientos científicos

Porlán (1989); Cleminson (1990); Fillon (1991); Carrascosa et al. (1993); Gil (1993); Guilbert y Meloche (1993); Ruggieri, Tarsitani y Vicentini (1993); Brickhouse (1994); Furió (1994); Gil (1994a); Pedrinaci (1994); Fernández y Orozco (1995); Orozco y Fernández (1995); Gil (1996); Hashweeh (1996); Thomaz et al. (1996); Boersema (1998); Matson y Parsons (1998); McComas (1998a y 1998b); McComas y Olson (1998); McComas (1998); Meichtry (1998); Nott y Wellington (1998); Porlán y Rivero (1998); Spector, Strong y La Porta (1998); Izquierdo, Sanmartí y Espinet (1999).

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.

Por tanto, 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, pese a una abundante literatura ya clásica sobre la naturaleza de la ciencia que contrasta radicalmente con dichas visiones (Popper, 1962; Kuhn, 1971; Bunge, 1976; Hempel, 1976; Toulmin, 1977; Lakatos, 1982 y 1989; Laudan, 1984; Feyerabend, 1989; Chalmers, 1992...). 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 (1982) (citado por Hodson, 1992a) critican la "investigación convencional" (o "académica") 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., etc. Kemmis y McTaggart insisten reiteradamente en su crítica a la investigación académica, atribuyéndole deformaciones y reduccionismos que los autores dan por sentado que corresponden al "método científico" utilizado por "las ciencias naturales".

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. Como hemos venido insistiendo en este trabajo, esto 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, que dificultan seriamente la educación científica y *tecnológica*. 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".

La superación de estas visiones deformadas constituye, pues, un requisito esencial para una orientación adecuada de la alfabetización científica y tecnológica de todas las personas. Una orientación que debe superar la supuesta y empobrecedora confrontación, ampliamente aceptada, entre cultura humanística y tecnocientífica y contribuir a una mejor comprensión de la ciencia y la tecnología como actividades abiertas y creativas, socialmente contextualizadas.

Referencias bibliográficas

Abrams, E. y J.H. Wandersee (1995). How to infuse actual scientific research practices into science classroom instruction. *International Journal of Science Education*, 17(6), 683-694.

Acevedo, J.A. (1994). Los futuros profesores de enseñanza secundaria ante la sociología y la epistemología de las ciencias: Un enfoque C/T/S. *Revista Interuniversitaria de Formación del Profesorado*, 19, 111-125.

Aikenhead, G.S. (1984). Teacher decision making: The case of Prairie High. *Journal of Research in Science Education*, 21, 167-186.

Bachelard, G. (1938). *La Formation de L'esprit scientifique*. París: Vrin.

Boersema, D. (1998). The use of real and imaginary cases in communicating the nature of science: a course outline. En W.F. McComas (Ed.), *The nature of science in science education. Rationales and strategies* (pp. 255-266). Netherland: Kluwer Academic Publishers.

Botton, C. y C. Brown (1998). The reliability of some VOSTS items when used with preservice secondary science teachers in England. *Journal of Research in Science Teaching*, 35(1), 53-71.

Brickhouse, N.W. (1989). The teaching of the philosophy of science in secondary classrooms: Case studies of teachers' personal theories. *International Journal of Science Education*, 11, 437-449.

Brickhouse, N.W. (1990). Teachers' beliefs about the nature of science and their relationship to classroom practice. *Journal of Teacher Education*, 41(3), 53-62.

Brickhouse, N.W. (1994). Childrens observations, ideas and the development of classroom. Theories about light. *Journal of Research in Science Teaching*, 31(6), 639-656.

Brickhouse, N.W. y G.M. Bodner (1992). The beginning science teacher: classroom narratives of convictions and constraints. *Journal of Research in Science Teaching*, 29(5), 471-485.

Briscoe, C. (1991). The Dynamic Interactions Among Beliefs, Role Metaphors, and Teaching Practices: A Case Study of Teacher Change. *Science Education*, 75(2), 185-199.

Briscoe, C. (1993). Using cognitive referents in making sense of teaching: A chemistry teacher's struggle to change assessment practices. *Journal of Research in Science Teaching*, 30, 971-987.

Briscoe, C. y J. Peters (1997). Teacher collaboration across and within schools: Supporting individual change in elementary science teaching. *Science Education*, 81(1), 51-65.

Brush, S.G. (1989) History of science and science education. *Interchange*, 20, 60-71.

Bunge, M. (1976). *Epistemología*. Barcelona: Ariel.

Burbules, N. y M. Linn (1991). Science education and philosophy of science: congruence or contradiction? *International Journal of Science Education*, 13(3), 227-241.

Bybee, R. (2000). Achieving Technological Literacy: A National Imperative. *The Technology Teacher*, September 2000, 23-28.

Cachapuz, A.F. (1995). Da investigação sobre e para professores à investigação com e pelos professores de ciências. En: *La formación del*

profesorado de ciencias y matemáticas en España y Portugal (pp. 243-254). Departamento de Didáctica de las ciencias experimentales y de las Matemáticas. Facultad de Educación. Universidad de Extremadura. Badajoz.

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.

Campos, C. y A.F. Cachapuz (1997). Imagens de Ciência en manuais de química portugueses. *Química Nova*, 6, 23-29.

Carrascosa, J.; Fernández, I.; Gil, D. y A. Orozco (1993). Análisis de algunas visiones deformadas sobre la naturaleza de la ciencia y las características del trabajo científico. *Enseñanza de las Ciencias*. Volumen Extra, 43-46.

Chalmers, A.F. (1992). *La ciencia y cómo se elabora*. Madrid: Siglo XXI.

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.

Cobern, W.W. y C. Loving (1998). The card exchange: introducing the philosophy of science. En W.F. McComas (Ed.), *The nature of science in science education. Rationales and strategies* (pp. 73-82). Netherland: Kluwer Academic Publishers.

Dawkins, K.R. y A.A. Glatthorn (1998). Using historical case studies in biology to explore the nature of science: A professional development program for high school teachers. En W.F. McComas (Ed.), *The nature of science in science education. Rationales and strategies* (pp. 163-176). Netherland: Kluwer Academic Publisher.

Désautels, J. y M. Larochelle (1998a). About the epistemological posture of science teachers. En Tiberghien A., Jossem L. y Barojas J. (Eds.), *Connecting Research in Physics Education with Teacher Education An International Commission on Physics Education (ICPE)*. En <http://www.physics.ohio-state.edu/~jossem/ICPE/D3.html>

Désautels, J. y M. Larochelle (1998b). The epistemology of students: The "thingified" nature of scientific knowledge. En Fraser B y Tobin K (Eds.), *International Handbook of Science Education* (pp. 115-116). London: Kluber.

Désautels, J.; Larochelle, M.; Gagné, B. y F. Ruel (1993). La formation a l'enseignement des sciences: le virage épistémologique. *Didaskalia*, 1, 49-67.

Driver, R. y V. Oldham (1986). A constructivist approach to curriculum development in science. *Studies in Science Education*, 13, 105-122.

Duschl, R.A. (1994). Research on the history and philosophy of science. En Gabel D. (Ed.), *Handbook of Research on Science Teaching and Learning* (pp. 445-455). New York: McMillan.

Duschl, R.A. y E. Wright (1989). A case study of high school teachers' decision making models for planning and teaching science. *Journal of Research in Science Teaching*, 26, 467-501.

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. y A. Orozco (1995). *La transformación de las concepciones espontáneas sobre la ciencia*. Tesis de Tercer Ciclo. Universitat de València.

Fernández, I.; Gil, D.; Carrascosa, J.; Cachapuz, A. y J. Praia (2002). Visiones deformadas de la ciencia transmitidas por la enseñanza. *Enseñanza de las Ciencias*, 20(3), 477-488.

Feyerabend, P. (1989). *Contra el Método*. Barcelona: Ariel.

Fillon, P. (1991). Histoire des sciences et réflexion épistémologiques des élèves. *Aster*, 12, 91-120.

Fraser, B.J. y K.G. Tobin (1998). *International Handbook of Science Education*. London: Kluwer Academic Publishers.

Furió, C. (1994). Tendencias actuales en la formación del profesorado de ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 12(2), 188-199.

Gagliardi, R. y A. Giordan (1986). La historia de las ciencias: Una herramienta para la enseñanza. *Enseñanza de las Ciencias*, 4(3), 253-258.

Gallagher, J.J. (1991). Perspective and Practicing Secondary School Science Teachers Knowledge and Beliefs about the Philosophy of Science. *Science Education*, 75(1), 121-133.

García Cruz, C.M. (1991). La historia de la ciencia en la futura enseñanza secundaria: Reflexiones en torno al Diseño Curricular Base. *Enseñanza de las ciencias*, 10(1), 115-117.

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, 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, D. (1994a). Diez años de investigación en didáctica de las ciencias: realizaciones y perspectivas. *Enseñanza de las Ciencias*, 12(2), 154-164.

Gil, D. (1994b). El currículo de ciencias en la educación secundaria: ¿Área o disciplinas? ¡Ni lo uno ni lo otro, sino todo lo contrario!. *Infancia y Aprendizaje*, 65, 19-30.

Gil, D. (1996). New trends in science education. *International Journal in Science Education*, 18 (8), 889-901.

Gil, D.; Carrascosa, J.; Furió, C. y J. Martínez-Torregrosa (1991). *La enseñanza de las ciencias en la educación secundaria*. ICE/Universidad de Barcelona. Barcelona: Ed. Horsori.

Guilbert, L. y D. Meloche (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.

Giordan A. (1978). Observation - Experimentation: mais comment les élèves apprennent-ils?. *Revue Française de Pédagogie*, 44, 66-73. Traducción española en *Infancia y Aprendizaje*, 1978, número 13.

Giordan, A. y G. De Vecchi (1987). *Les origines du savoir. Des conceptions des apprenants aux concepts scientifiques*. Neuchatel: Delachaux & Niestlé. (Traducción castellana: Los orígenes del saber. De las concepciones personales a los conceptos científicos. Sevilla: Diada, 1988).

Glaserfeld, E. (1989). Cognition, Construction of Knowledge and Teaching, *Synthese*, 80, 121-140.

Gould, S.J. (1987). *Time's arrow time's cycle*. Cambridge. M.A.: Harvard University Press.

Hacking, I. (1983). *Representing and Intervening*. Cambridge, MA: 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.

Hammerich, P.L. (1998). Confronting students' conceptions of the nature of science with cooperative controversy. En W.F. McComas (Ed.), *The nature of science in science education. Rationales and strategies* (pp. 127-136). Netherland: Kluwer Academic Publishers.

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.

Hashweeh, M.Z. (1996). Effects of science teachers' epistemological beliefs in teaching. *Journal of Research in Science Teaching*, 33(1), 47-63.

Hempel, C.G. (1976). *Filosofía de la ciencia natural*. Madrid: Alianza.

Hewson, P.W.; Kerby, H.W. y P.A. Cook (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. (1992a). 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, 541-562.

Hodson, D. (1992b). Assessment of practical work: some considerations in philosophy of science. *Science Education*, 1(2), 115-144.

Hodson, D. (1993). Philosophy stance of secondary school science teachers, curriculum experiences and children's understanding of science: some preliminary findings. *Interchange*, 24(1 y 2), 41-52.

Izquierdo, M.; Sanmartí, N. y M. Espinet (1999). Fundamentación y diseño de las prácticas escolares de ciencias experimentales. *Enseñanza de las Ciencias*, 17(1), 45-59.

Jacoby, B.A. y P.E. Spargo (1989). Ptolomy revisited? The existence of a mild instrumentalism in some selected high school physical science textbooks. *Interchange*, 20, 33-53.

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.

Kemmis, S. y R. McTaggart (1982). *The Action Research Planner*. Geelong: Deakin University Press.

King, B.B. (1991). Beginning Teachers Knowledge of and Attitude Towards History and Philosophy of Science. *Science Education*, 75(1), 135-141.

Koballa, T.R.; Crawley, F.E. y R.L. Shrigley (1990). A summary of research in Science Education 1988. *Science Education*, 74(3), 253-407.

Koulaidis, V. y J. Ogborn (1995). Science teacher philosophical assumptions: how well do we understand them?. *International Journal Science Education*, 17(3), 273-283.

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 J. Wellington (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.

Laudan, L. (1984). *Science and values: the aims of science and their role in the scientific debate*. Berkeley: University of California Press.

Lederman, N.G. (1992). Student's and teachers' conceptions of the nature of science: A review of the research. *Journal of Research in Science Teaching*, 29, 331-359.

Lederman, N.G. y F. Abd-El-Khalick (1998). Avoiding de-natured science: Activities that promote understandings of the nature of science. En W.F.

McComas (Ed.), *The nature of science in science education. Rationales and strategies* (pp. 83-126). Netherland: Kluwer Academic Publishers.

Lemberger, J.; Hewson, P. y H. Park (1999). Relationships between prospective secondary teachers' classroom practice and their conceptions of Biology and teaching science. *Science Education*, 83(3), 347-371.

Linder, C.J. (1992). Is teacher-reflected epistemology a source of conceptual difficulty in physics?. *International Journal of Science Education*, 14(1), 111-121.

Loving, C.C. (1991). The Scientific Theory Profile: A Philosophy of Science models for Science Teacher. *Journal of Research in Science Teaching*, 28(9), 823-838.

Maiztegui, A.; Acevedo, J.A.; Caamaño, A.; Cachapuz, A.; Cañal, P.; Carvalho, A.M.P.; del Carmen, L.; Dumas Carré, A.; Garritz, A.; Gil, D.; González, E.; Gras-Martí, A.; Guisasola, J.; López-Cerezo J.A.; Macedo, B.; Martínez-Torregrosa, J.; Moreno, A.; Praia, J.; Rueda, C.; Tricárico, H.; Valdés, P. y A. Vilches (2002). Papel de la tecnología en la educación científica: una dimensión olvidada. *Revista Iberoamericana de Educación*, 28, 129-155.

Matson, J.O. y S. Parsons (1998). The nature of science: achieving scientific literacy by doing science. En W.F. McComas (Ed.), *The nature of science in science education. Rationales and strategies* (pp. 223-230). Netherland: Kluwer Academic Publishers.

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. (1997). Editorial. *Science and Education*, 6, 323-329.

McComas, W.F. (Ed.) (1998). *The nature of science in science education. Rationales and strategies*. Netherland: Kluwer Academic Publishers.

McComas, W.F. (1998a). The principal elements of the nature of science: Dispelling the myths. En W.F. McComas (Ed.), *The nature of science in science education. Rationales and strategies* (pp. 53-72). Netherland: Kluwer Academic Publishers.

McComas, W.F. (1998b). A thematic introduction to the nature of science: The rationale and content of a course for science educators. En W.F. McComas (Ed.), *The nature of science in science education. Rationales and strategies* (pp. 211-222). Netherland: Kluwer Academic Publishers.

McComas, W.F. y J. Olson (1998). The nature of science in international science education standards documents. En W.F. McComas (Ed.), *The nature of science in science education. Rationales and strategies* (pp. 41-52). Netherland: Kluwer Academic Publishers.

Meichtry, Y. (1998). Elementary science teaching methods: Developing and measuring student view about the nature of science. En W.F. McComas (Ed.), *The nature of science in science education. Rationales and strategies* (pp. 231-242). Netherland: Kluwer Academic Publishers.

Mellado, V. (1996). Concepciones y prácticas de aula de profesores de ciencias en formación inicial de primaria y secundaria. *Enseñanza de las Ciencias*, 14(3), 289-302.

Mellado, V. (1997). Preservice teachers' classroom practice and their conceptions of the nature of science. *Science & Education*, 6(4), 331-354.

Mellado, V. (1998). The classroom practice of preservice teachers and their conceptions of teaching and learning science. *Science Education*, 82(2), 197-214.

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: Editorial Crítica.

Nadeau, R. y J. Désautels (1984). *Epistemology and the teaching of science*. Ottawa: Science Council of Canada.

Newton, D.P. y L.D. Newton (1992). Young children's perceptions of science and scientist. *International Journal in Science Education*, 14(3), 331-348.

Niiniluoto, I. (1997). Ciencia frente a Tecnología: ¿Diferencia o identidad? *Arbor*, 620, 285-299.

Nott, M. y J. Wellington (1998). A programme for developing understanding of the nature of science in teacher education. En W.F. McComas (Ed.), *The nature of science in science education. Rationales and strategies* (pp. 293-314). Netherland: Kluwer Academic Publishers.

Nussbaum, J. (1989). Classroom conceptual change: philosophical perspectives. *International Journal in Science Education*, 11, 530-540.

Orozco, A. y I. Fernández (1995). *El problema de las concepciones espontáneas sobre la ciencia*. Tesis de Tercer Ciclo. Universidad de Valencia.

Otero, J. (1985). Assimilation problems in traditional representation of scientific knowledge. *European Journal of Science Education*, 7(4), 361-369.

Paixão, M.F. y A. Cachapuz (1998). Dimensión epistemológica de los programas de Física y Química e implicaciones en las prácticas de enseñanza: ¿Qué lectura hacen los profesores? En E. Banet y A. de Pro (Eds.), *Investigación e Innovación en la Enseñanza de las Ciencias*, Vol. 1 (pp. 284-293). Murcia: D.M.

Paixão, M.F. y A. Cachapuz (1999). *Challenges on science teacher education for the new century: an approach based on the epistemology of curricular themes*. Comunicación presentada en la 24th ATEE Anual Conference. Leipzig.

Pedrinaci, E. (1994). Epistemología, historia de las ciencias y abejas. *Investigación en la escuela*, 23, 95-102.

Penick, J.E. y R.E. Yager (1986). Trends in science education: Some observations of exemplary programmes in the U.S.A. *European Journal of Science Education*, 8, 1-8.

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.

Porlán, R. (1989). *Teoría del conocimiento, teoría de la enseñanza y desarrollo profesional. Las concepciones epistemológicas de los profesores*. Tesis Doctoral. Universidad de Sevilla.

Porlán, R. y A. Rivero (1998). *El conocimiento de los profesores*. Sevilla: Diada Editora.

Quintanilla, M.A. y J.M. Sánchez Ron (1997). *Ciencia Tecnología y Sociedad*. Madrid: Santillana.

Roth, W.M. y K.B. Lucas (1997). From "Truth" to "Invented Reality": A Discourse Analysis of High School Physics Students' Talk about Scientific Knowledge. *Journal of Research in Science Teaching*, 34(2), 145-179.

Roth, W.M. y S. Roychondhury (1994). Students' Epistemologies and Views about Knowing and Learning. *Journal of Research in Science Teaching*, 31(1), 5-30.

Rubba, P.A. y W.L. Harkness (1993). Examination of preservice and in-service secondary science teachers' beliefs about Science/Technology/Society interactions. *Science Education*, 77(4), 407-431.

Ruggieri, R.; Tarsitani, C. y M. Vicentini (1993). The images of science of teachers in latin countries. *International Journal of Science Education*, 15(4), 383-393.

Sánchez Ron, J.M. (1994) ¿El conocimiento científico prenda de felicidad? En Nadal J. (Ed.), *El mundo que viene* (pp. 221-246). Madrid: Alianza.

Selley, N.J. (1989). The philosophy of school science. *Interchange*, 20(2), 24-32.

Solbes, J. y A. Vilches (1997). STS interactions and the teaching of Physics and Chemistry. *Science Education*, 81(4), 377-386.

Solbes, J. y A. Vilches (1998). Las interacciones CTS en los nuevos textos de secundaria. En E. Banet y A. de Pro (Coords.), *Investigación e Innovación en la Enseñanza de las Ciencias*, Vol.1 (pp. 142-147). Murcia: D.M.

Solomon, J. (1991). Teaching about the nature of science in the British National Curriculum. *Science Education*, 75(1), 95-103.

Solomon, J.; Duveen, J. y L. Scott (1994). Pupils' images of scientific epistemology. *International Journal of Science Education*, 16(3), 361-373.

Spector, B.; Strong, P. y T. Laporta(1998). Teaching the nature of science as an element of science, technology and society. En W.F. McComas

(Ed.), *The nature of science in science education. Rationales and strategies* (pp. 267-276). Netherland: Kluwer Academic Publishers.

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

Suchting, W.A. (1992). Constructivism Deconstructed. *Science & Education*, 1(3), 223-254.

Sutton, C. (1998). New perspectives on language in science. En B.J. Fraser and K.G. Tobin (Eds.), *International Handbook of Science Education* (pp. 27-38). Netherland: Kluwer Academic Publishers.

Thomaz, M.F.; Cruz, M.N.; Martins, I.P. y A.F. Cachapuz (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.

Tobin, K.G.; Tippins, D.J. y A.J. Gallard (1994). Research on Instruccional Strategies for Teaching Science. En D.L. Gabel (Ed.), *Handbook of Research on Science Teaching and Learning* (pp. 45-93). New York: National Science Teachers Association.

Tobin, K.G.; Tippins, D.J. y K. Hook (1994). Referents for changing a science curriculum: A case study of one teacher's change in beliefs. *Science & Education*, 3, 245-264.

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.