

INMERSIÓN EN LA CULTURA CIENTÍFICA PARA LA TOMA DE DECISIONES ¿NECESIDAD O MITO?⁽¹⁾

Gil-Pérez, Daniel y Vilches, Amparo. Universitat de València

(1) Este artículo ha sido concebido como contribución a la *Década de la Educación para un futuro sostenible* (<http://www.oei.es/decada/>) instituida por Naciones Unidas para el periodo 2005-2014.

RESUMEN^(*)

El propósito de este trabajo es contribuir al debate que se viene desarrollando desde hace tiempo en torno al papel de la naturaleza de la ciencia en la educación científica y, en particular, en la formación de la ciudadanía para su participación en la toma de decisiones.

Palabras Clave: *Naturaleza de la ciencia y de la tecnología; Alfabetización científica; Inmersión en una cultura científica y tecnológica; Relaciones ciencia-tecnología-sociedad-ambiente (CTSA); Educación ciudadana; Toma de decisiones.*

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo responde al debate planteado, en esta misma revista, por el artículo “*Naturaleza de la ciencia y educación científica para la participación ciudadana. Una revisión crítica*” (Acevedo et al., 2005).

Dicho artículo comienza recordando que la didáctica de las ciencias promueve “*la presencia explícita de la naturaleza de la ciencia en el currículo de ciencias, aportando diversos motivos para ello*” y se centra en el llamado *argumento democrático*, “*relacionado con la participación ciudadana en la toma de decisiones tecnocientíficas en la sociedad civil*”. El artículo termina señalando que “*se echan en falta discusiones sobre estas cuestiones en la didáctica de las ciencias*”, y aunque sí existe, en realidad, una abundante bibliografía a este respecto, hemos considerado una obligación participar, una vez más, en estos debates, sin duda muy necesarios y que merecen la máxima difusión.

Nos centraremos en dos de los problemas –estrechamente relacionados– abordados en el artículo de Acevedo et al. (2005):

- Educación para participar en las discusiones tecnocientíficas
- Papel de la naturaleza de la ciencia en la educación científica y, en particular, en la toma de decisiones tecnocientíficas con interés social.

EDUCACIÓN PARA PARTICIPAR EN LAS DISCUSIONES TECNOCIENTÍFICAS

Estamos básicamente de acuerdo con el planteamiento de Acevedo et al. (2005) acerca de que la enseñanza no debería *“limitarse a educar para conocer y comprender mejor los mundos natural y artificial, sino que debe educar, sobre todo, para que las personas puedan intervenir en la sociedad civil”*. Tan sólo matizaríamos el *“sobre todo”*, porque, como intentaremos mostrar, no hay contraposición entre ambos objetivos.

Existe, ciertamente, un amplio consenso acerca de la necesidad de una alfabetización científica que prepare a ciudadanos y ciudadanas para la toma de decisiones. Así, en la Conferencia Mundial sobre la Ciencia para el siglo XXI, auspiciada por la UNESCO y el Consejo Internacional para la Ciencia, se declara: *“Para que un país esté en condiciones de atender a las necesidades fundamentales de su población, la enseñanza de las ciencias y la tecnología es un imperativo estratégico (...) Hoy más que nunca es necesario fomentar y difundir la alfabetización científica en todas las culturas y en todos los sectores de la sociedad, (...) a fin de mejorar la participación de los ciudadanos en la adopción de decisiones relativas a la aplicaciones de los nuevos conocimientos”* (Declaración de Budapest, 1999). Podemos mencionar también, por poner otro ejemplo relevante, los National Science Education Standards, auspiciados por el National Research Council (1996) para el logro de la educación científica de los ciudadanos y ciudadanas estadounidenses del siglo XXI, en cuya primera página podemos leer: *“todos necesitamos ser capaces de implicarnos en discusiones públicas acerca de asuntos importantes que se relacionan con la ciencia y la tecnología”*.

Este argumento *“democrático”* es, quizás, el más ampliamente utilizado por quienes reclaman la alfabetización científica y tecnológica como una componente básica de la educación ciudadana (Fourez, 1997; Bybee, 1997; DeBoer, 2000).

Sin embargo, algunos autores han venido a poner en duda la conveniencia e incluso la posibilidad de que la generalidad de los ciudadanos y ciudadanas adquieran una formación científica realmente útil para, entre otros objetivos, participar en la toma de decisiones (Atkin y Helms, 1993; Shamos, 1995; Fensham 2002_a y 2002_b). Se trata de trabajos bien documentados que pretenden *“sacudir aparentes evidencias”*, como sería, en su opinión, la necesidad de alfabetizar científicamente a toda la población, algo que Shamos califica de auténtico mito en su libro *The Myth Of Scientific Literacy* (Shamos, 1995). Es preciso, pues, analizar cuidadosamente sus argumentos (Gil-Pérez y Vilches, 2004 y 2005).

¿Es posible proporcionar a la ciudadanía una educación científica que resulte realmente útil?

En opinión de Fensham (2002_b), pensar que una sociedad científicamente alfabetizada está en mejor situación para actuar racionalmente frente a los problemas socio-científicos, constituye una ilusión que ignora la complejidad de los conceptos científicos implicados, como sucede, por ejemplo, en el calentamiento global. Es absolutamente irrealista, añade, creer que este nivel de conocimientos pueda ser adquirido, ni siquiera en las mejores escuelas. Un hecho clarificador a ese respecto es

el resultado del *Project 2061*, financiado por la American Association for the Advancement of Sciences (AAAS), que consistió en pedir a un centenar de eminentes científicos de distintas disciplinas que enumeraran los conocimientos científicos que deberían impartirse en los años de escolarización obligatoria para garantizar una adecuada alfabetización científica de los niños y niñas norteamericanos. El número total de aspectos a cubrir, señala Fensham, desafía el entendimiento y resulta superior a la suma de todos los conocimientos actualmente enseñados a los estudiantes de élite que se preparan como futuros científicos.

Argumentos como éstos son los que llevan a autores como Shamos, Fensham, etc., a considerar la alfabetización científica como un mito irrealizable, causante, además, de un despilfarro de recursos. ¿Debemos, pues, renunciar, a la idea de una educación científica básica para todos, susceptible de hacer posible la participación de la ciudadanía en la toma de decisiones?

Intentaremos mostrar, por el contrario, que la *participación*, en la toma fundamentada de decisiones, precisa de los ciudadanos más que un nivel de conocimientos muy elevado, la vinculación de *un mínimo* de conocimientos específicos, perfectamente accesible a la ciudadanía, con planteamientos globales y consideraciones éticas que no exigen especialización alguna (Gil-Pérez y Vilches, 2004). E intentaremos mostrar, igualmente, que la posesión de profundos conocimientos específicos, como los que poseen los especialistas en un campo determinado, no garantiza la adopción de decisiones adecuadas, sino que *se necesitan enfoques que contemplen los problemas en una perspectiva más amplia*, analizando las posibles repercusiones a medio y largo plazo, tanto en el campo considerado como en otros. Y eso es algo a lo que pueden *contribuir* no especialistas, con perspectivas e intereses más amplios, siempre que posean un mínimo de conocimientos científicos específicos sobre la problemática estudiada, sin los cuales resulta imposible comprender las opciones en juego y *participar* en la adopción de decisiones fundamentadas.

Consideramos útil, para ello, analizar, como ejemplo paradigmático, el problema creado por los fertilizantes químicos y pesticidas que, a partir de la Segunda Guerra Mundial, produjeron una verdadera revolución agrícola, incrementando notablemente la producción. Recordemos que la utilización de productos de síntesis para combatir los insectos, plagas, malezas y hongos aumentó la productividad en un periodo en el que un notable crecimiento de la población mundial lo exigía. Y recordemos igualmente que algunos años después la Comisión Mundial del Medio Ambiente y del Desarrollo (1988) advertía que su exceso constituye una amenaza para la salud humana, provocando desde malformaciones congénitas hasta cáncer, y siendo auténticos venenos para peces, mamíferos y pájaros. Por ello dichas sustancias, que se acumulan en los tejidos de los seres vivos, han llegado a ser denominadas, junto con otras igualmente tóxicas, "Contaminantes Orgánicos Persistentes" (COP).

Este envenenamiento del planeta por los productos químicos de síntesis, y en particular por el DDT, ya había sido denunciado a finales de los años 50 por Rachel Carson (1980) en su libro *Primavera silenciosa* (título que hace referencia a la desaparición de los pájaros) en el que daba abundantes y contrastadas pruebas de los efectos nocivos del DDT... lo que no impidió que fuera violentamente criticada y

sufriera un acoso muy duro por parte de la industria química, los políticos y *numerosos científicos*, que negaron valor a sus pruebas y le acusaron de estar contra un progreso que permitía dar de comer a una población creciente y salvar así muchas vidas humanas. Sin embargo, apenas 10 años más tarde se reconoció que el DDT era realmente un peligroso veneno y se prohibió su utilización en el mundo rico, aunque, desgraciadamente, se siguió utilizando en los países en desarrollo.

Lo que nos interesa destacar aquí es que la batalla contra el DDT fue dada por científicos como Rachel Carson *en confluencia con grupos ciudadanos* que fueron sensibles a sus llamadas de atención y argumentos. De hecho Rachel Carson es hoy recordada como “madre del movimiento ecologista”, por la enorme influencia que tuvo su libro en el surgimiento de grupos activistas que reivindicaban la necesidad de la protección del medio ambiente, así como en los orígenes del denominado movimiento CTS. Sin la acción de estos grupos de ciudadanos y ciudadanas *con capacidad para comprender los argumentos de Carson*, la prohibición se hubiera producido mucho más tarde, con efectos aún más devastadores. Conviene llamar la atención sobre la influencia de estos “activistas ilustrados” y su indudable participación en la toma de decisiones, al hacer suyos los argumentos de Carson y exigir controles rigurosos de los efectos del DDT, que acabaron convenciendo a la comunidad científica y, posteriormente, a los legisladores, obligando a su prohibición. Y conviene señalar también que muchos científicos, con un nivel de conocimientos sin duda muy superior al de esos ciudadanos, no supieron o quisieron ver *inicialmente* los peligros asociados al uso de plaguicidas.

Podemos mencionar muchos otros ejemplos similares, como, entre otros, los relacionados con la construcción de las centrales nucleares y el almacenamiento de los residuos radiactivos; el uso de los “freones” (compuestos fluorclorocarbonados), destructores de la capa de ozono; el incremento del efecto invernadero, debido fundamentalmente a la creciente emisión de CO₂, que amenaza con un cambio climático global de consecuencias devastadoras; los alimentos manipulados genéticamente, etc., etc.

Conviene detenerse mínimamente en el ejemplo de los alimentos transgénicos, que está suscitando hoy los debates más encendidos (Nierenberg y Halweil, 2005) y que puede ilustrar perfectamente el papel de la ciudadanía en la toma de decisiones. También en este terreno las cosas empezaron planteándose como algo positivo que, entre otras ventajas, podría reducir el uso de pesticidas y herbicidas y convertirse en “*la solución definitiva para los problemas del hambre en el mundo*”. Algo que, además, abría enormes posibilidades en el campo de la salud, para el tratamiento o curación de enfermedades incurables con los conocimientos y técnicas actuales. Así, en 1998, el director general de una de las más fuertes y conocidas empresas de organismos manipulados genéticamente (OGM) y alimentos derivados, en la asamblea anual de la Organización de la Industria de la Biotecnología, afirmó que, “de algún modo, vamos a tener que resolver cómo abastecer de alimentos a una demanda que duplica la actual, sabiendo que es imposible doblar la superficie cultivable. Y es imposible, igualmente, aumentar la productividad usando las tecnologías actuales, sin crear graves problemas

a la sostenibilidad de la agricultura (...) La biotecnología representa una solución potencialmente sostenible al problema de la alimentación”.

Pero no todos han estado de acuerdo con una visión tan optimista y muy pronto surgieron las preocupaciones por sus posibles riesgos para el medio ambiente, para la salud humana, para el futuro de la agricultura, etc. Una vez más, señalaron los críticos, se pretende proceder a una aplicación apresurada de tecnologías cuyas repercusiones no han sido suficientemente investigadas, sin tener garantías razonables de que no aparecerán efectos nocivos... como ocurrió con los plaguicidas, que también fueron saludados como "la solución definitiva" al problema del hambre y de muchas enfermedades infecciosas (Vilches y Gil-Pérez, 2003).

Nos encontramos, pues, con un amplio debate abierto, con estudios inacabados y resultados parciales contrapuestos (muchos de ellos presentados por las propias empresas productoras). Esas discrepancias entre los propios científicos son esgrimidas en ocasiones como argumento para cuestionar la participación de la ciudadanía en un debate “en el que ni siquiera los científicos, con conocimientos muy superiores, se ponen de acuerdo”. Pero cabe insistir, una vez más, en que la toma de decisiones no puede basarse exclusivamente en argumentos científicos específicos. Por el contrario, las preocupaciones que despierta la utilización de estos productos y las dudas a cerca de sus repercusiones recomiendan que los ciudadanos y ciudadanas tengan la oportunidad de participar en el debate y exigir una estricta aplicación del principio de prudencia. Ello no cuestiona, desde luego, el desarrollo de la investigación ni en éste ni en ningún otro campo, pero se opone a la aplicación apresurada, sin suficientes garantías, de los nuevos productos, por el afán del beneficio a corto plazo. Es absolutamente lógico, pues, que haya surgido un amplio movimiento de rechazo entre los consumidores, *apoyado por un amplio sector de la comunidad científica*, hacia la comercialización precipitada y poco transparente de estos alimentos manipulados genéticamente. Cabe señalar que este rechazo está dando notables frutos, como la firma en Montreal del Protocolo de Bioseguridad en febrero de 2000 por 130 países, a pesar de las enormes dificultades previas y presiones de los países productores de organismos modificados genéticamente. Dicho protocolo, enmarcado en el Convenio sobre Seguridad Biológica de la ONU, supone un paso importante en la legislación internacional (aunque todavía no plenamente consolidado, por la falta de firmas como la de EEUU), puesto que *obliga a demostrar la seguridad antes de comercializar los productos*, evitando así que se repitan los graves errores del pasado.

Debemos insistir en que esta participación de la ciudadanía en la toma de decisiones, que se traduce, en general, en evitar la aplicación apresurada de innovaciones de las que se desconocen las consecuencias a medio y largo plazo, no supone ninguna rémora para el desarrollo de la investigación, ni para la introducción de innovaciones para las que existan razonable garantías de seguridad. De hecho la opinión pública no se opone, por ejemplo, a *la investigación* con células madre embrionarias. Muy al contrario, está apoyando a la mayoría de la comunidad científica que reclama se levante la prohibición introducida en algunos países, debido a la presión de grupos ideológicos fundamentalistas.

Necesidad de una alfabetización científica de la ciudadanía

En definitiva, la participación ciudadana en la toma de decisiones es hoy un hecho positivo, una garantía de aplicación del principio de precaución, que se apoya en una creciente sensibilidad social frente a las implicaciones del desarrollo tecnocientífico que puedan comportar riesgos para las personas o el medio ambiente. Dicha participación, hemos de insistir, reclama un mínimo de formación científica que haga posible la comprensión de los problemas y de las opciones - que se pueden y se deben expresar con un lenguaje accesible- y no ha de verse rechazada con el argumento de que problemas como el cambio climático o la manipulación genética sean de una gran complejidad. Naturalmente se precisan estudios científicos rigurosos, pero tampoco ellos, por si solos, bastan para adoptar decisiones adecuadas, puesto que, a menudo, la dificultad estriba, antes que en la falta de conocimientos, en la ausencia de un planteamiento global que evalúe los riesgos y contemple las posibles consecuencias a medio y largo plazo. Muy ilustrativo a este respecto puede ser el enfoque dado a las *catástrofes anunciadas*, como la provocada por el hundimiento del Prestige y otros petroleros, que se intenta presentar como "accidentes" (Vilches y Gil-Pérez, 2003).

Todo ello constituye un argumento decisivo a favor de una alfabetización científica del conjunto de la ciudadanía, cuya necesidad aparece cada vez con más claridad ante la situación de auténtica "emergencia planetaria" (Bybee, 1991) que estamos viviendo. Así, en la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo, celebrada en Río de Janeiro en 1992 y conocida como *Primera Cumbre de la Tierra*, se reclamó una decidida acción de los educadores para que los ciudadanos y ciudadanas adquieran una correcta percepción de cuál es esa situación y *puedan participar en la toma de decisiones fundamentadas* (Edwards et al., 2001; Gil-Pérez et al., 2003). Como señalan Hicks y Holden (1995), si los estudiantes han de llegar a ser ciudadanos y ciudadanas responsables, es preciso que les proporcionemos ocasiones para analizar los problemas globales que caracterizan esa situación de emergencia planetaria y considerar las posibles soluciones.

Así pues, la alfabetización científica no sólo no constituye un "mito irrealizable" (Shamos, 1995), sino que se impone como una dimensión esencial de la cultura ciudadana. Cabe señalar, por otra parte, que la reivindicación de esta dimensión no es el fruto de "una idea preconcebida" aceptada acríticamente, como afirma Fensham (2002_a y 2002_b). Muy al contrario, el prejuicio ha sido y sigue siendo que "la mayoría de la población es incapaz de acceder a los conocimientos científicos, que exigen un alto nivel cognitivo", lo que implica, *obviamente*, reservarlos a una pequeña élite. El rechazo de la alfabetización científica recuerda así la sistemática resistencia histórica de los privilegiados a la extensión de la cultura y a la generalización de la educación (Gil-Pérez y Vilches, 2001). Y su reivindicación forma parte de la batalla de las fuerzas progresistas por vencer dichas resistencias, que constituyen el verdadero prejuicio acrítico.

Pero esta apuesta por una educación científica orientada "sobre todo, para que las personas puedan intervenir en la sociedad civil" (Acevedo et al., 2005), es decir, orientada a la formación ciudadana, *en vez de* a la preparación de futuros científicos, genera resistencias en numerosos profesores, quienes argumentan, legítimamente,

que la sociedad necesita científicos y tecnólogos que han de formarse y ser adecuadamente seleccionados desde los primeros estadios (Vilches, Solbes y Gil-Pérez, 2004). Es preciso denunciar, sin embargo, la falacia de esta contraposición entre ambas orientaciones curriculares y de los argumentos que supuestamente la avalan.

Cabe insistir, efectivamente, en que una educación científica como la practicada hasta aquí, tanto en la secundaria como en la misma universidad, centrada casi exclusivamente en los aspectos conceptuales, es igualmente criticable como preparación de futuros científicos y que dificulta, paradójicamente, el aprendizaje conceptual. En efecto, la investigación en didáctica de las ciencias está mostrando que "los estudiantes desarrollan mejor su comprensión conceptual y aprenden más acerca de la naturaleza de la ciencia cuando participan en investigaciones científicas, con tal de que haya suficientes oportunidades y apoyo para la reflexión" (Hodson, 1992). Dicho con otras palabras, lo que la investigación está mostrando es que *la comprensión significativa de los conceptos exige superar el reduccionismo conceptual* y plantear la enseñanza de las ciencias como una actividad, próxima a la investigación científica, que integre los aspectos conceptuales, procedimentales y axiológicos (Vilches, Solbes y Gil-Pérez, 2004). Ello nos remite a la discusión acerca del papel de la naturaleza de la ciencia –NdC en adelante– en la educación científica y, en particular, "en la toma de decisiones tecnocientíficas con interés social", que constituye el segundo de los problemas tratados en el artículo de Acevedo et al. (2005) que nos interesa abordar.

PAPEL DE LA NATURALEZA DE LA CIENCIA EN LA EDUCACIÓN CIENTÍFICA

Los autores del trabajo que estamos comentando recuerdan que *"De manera habitual, los currículos de ciencias se han centrado sobre todo en los contenidos conceptuales que se rigen por la lógica interna de la ciencia y han olvidado la formación sobre la ciencia misma"* y señalan algunas dificultades que se dan para ello, como la complejidad de la NdC o el hecho de que *"los propios filósofos y sociólogos de la ciencia tienen grandes desacuerdos sobre los principios básicos de ésta"*. Por otra parte, Acevedo et al. (2005) se hacen eco de trabajos *"que aportan resultados claramente contrarios a la influencia de la NdC en las decisiones sociocientíficas"* (Bell y Lederman, 2003). *"El principal resultado obtenido –señalan– fue que los diversos puntos de vista sobre NdC no eran un factor crucial para la toma de decisiones"*.

Resultados como los mencionados llevan a Acevedo et al. a concluir en sus reflexiones finales: *"La didáctica de las ciencias considera hoy que es necesario enseñar algo de NdC en las aulas de ciencias, siendo uno de los diversos motivos que aduce para ello su valor en la educación para la participación ciudadana en las decisiones tecnocientíficas. No obstante, los resultados de las investigaciones citadas en este estudio deberían hacernos considerar la influencia de otros factores tan importantes al menos como la NdC, si no más, lo que sin duda hace más compleja la temática planteada. Además, si se cree necesaria su inclusión en la educación científica, todavía quedaría por resolver el problema de cuál debe ser la NdC que hay que enseñar"*.

Por nuestra parte consideramos que resultados como los de Bell y Lederman (2003) no cuestionan el papel de la NdC en la educación científica -y, en particular, en la toma de decisiones- y que, por el contrario, una adecuada alfabetización exige, precisamente, la inmersión de los estudiantes en una cultura científica (Bybee, 1997). Una inmersión que ha de ir más allá de la adquisición de “*puntos de vista sobre NdC*”. En lo que sigue intentaremos fundamentar estas tesis.

Comenzaremos recordando que numerosos y concordantes análisis de la enseñanza de las ciencias 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 et al., 2002). Visiones empobrecidas y distorsionadas que generan el desinterés, cuando no el rechazo, de muchos estudiantes y se convierten en un obstáculo para el aprendizaje. Hasta el punto de que se ha comprendido, como afirman Guilbert y Meloche (1993), que la mejora de la educación científica exige, como requisito ineludible, modificar la imagen de la NdC que los profesores tenemos y transmitimos.

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 Tobín, 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 adecuada, no distorsionada, sobre la naturaleza de la ciencia y de la actividad científica, coherente con la epistemología actual.

Somos conscientes de la dificultad que entraña hablar de una “imagen adecuada” 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. Ello puede lograrse de muy diversas formas:

- mediante un detenido estudio de las deformaciones estudiadas en la literatura,
- tomando en consideración lo mucho que comparten los historiadores y filósofos de la ciencia –pese a controversias y matices que suelen destacarse más que las convergencias básicas-
- a través del análisis de la práctica educativa realizado por equipos de profesores y por los mismos estudiantes, cuando se favorece su distanciamiento crítico.

Estos distintos estudios (Fernández et al., 2002) permiten sacar a la luz, de forma convergente, un conjunto de distorsiones, estrechamente relacionadas, cuya superación puede servir de base a un consenso acerca de cómo orientar la inmersión en una cultura científica, o, mejor dicho, en una cultura científica y tecnológica, pues las distorsiones afectan tanto a la naturaleza de la ciencia como a la de la tecnología y deben ser abordadas conjuntamente. Resumiremos seguidamente, apoyándonos en estudios precedentes, a los que nos remitimos (Gil Pérez, 1993; Fernández, 2000; Fernández et al., 2002; Gil Pérez y Vilches, 2003; Gil Pérez et al., 2005), las características de las principales distorsiones, cuya toma en consideración permite dibujar una visión de la NdC (y de la tecnología) más acorde con los consensos básicos de la epistemología contemporánea.

Una visión descontextualizada. Comenzamos por una deformación criticada por todos los equipos docentes implicados en este esfuerzo de clarificación, por los estudiantes 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; Solbes y Vilches, 1997). 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 (Vilches y Gil-Pérez, 2003). Este tratamiento descontextualizado comporta, muy en particular, una falta de clarificación de las relaciones entre ciencia y tecnología, en las que conviene detenerse.

Habitualmente la tecnología es considerada una mera aplicación de los conocimientos científicos (Gil-Pérez y Vilches, 2003). De hecho, la tecnología ha sido vista tradicionalmente como una actividad de menor estatus que la ciencia 'pura' (Acevedo, 1995 y 1996; De Vries, 1996; Cajas, 1999 y 2001). 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. 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, además, 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.

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.

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.

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.

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 los estudiantes, 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 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.

Una concepción empiro-inductivista y ateorica. 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. 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 Mosterín (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 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* y de su elaboración es ya utilizar un lenguaje tecnológico.

Es cierto que, como ya señalaba Bunge (1976), los diseños experimentales son deudores del cuerpo de conocimientos, 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'.

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 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... 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. 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.

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 pretendía 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.

Al presentar unos conocimientos ya elaborados, sin siquiera referirse a los problemas que están en su origen, se pierde de vista que, como afirmaba 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 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.

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.

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.

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, simplificadorios, 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 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 de cada día. 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).

Visión acumulativa, de crecimiento lineal. Una deformación a la que tampoco suelen hacer referencia los 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 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, 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).

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 siete visiones diferentes y autónomas; 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: 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).

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. 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. ¿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 los consensos actuales acerca de la naturaleza de la ciencia y de la construcción del conocimiento científico.

¿Qué podemos entender por actividad científica?

Un trabajo colectivo de reflexión crítica, sin embargo, permite distanciarse de estas visiones deformadas y adquirir una visión más adecuada de la actividad científica y

tecnológica, que expresa el consenso básico de muy diversos epistemólogos (Popper, 1962; Khun, 1971; Bunge, 1976; Toulmin, 1977; Feyerabend, 1975; Lakatos, 1982; Laudan, 1984...), al margen de sus discrepancias y debates puntuales. Podemos resumir este consenso en los siguientes puntos:

1. En primer lugar podemos 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. 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. 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 el trabajo científico exige tratamientos analíticos, simplificadorios, artificiales. Pero ello no supone, como a veces se crítica, 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.

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.

¿Qué interés puede tener este esfuerzo de clarificación para la alfabetización científica de la ciudadanía y su preparación para la toma de decisiones?

Cabe preguntarse, por supuesto, si merece realmente la pena todo este esfuerzo de clarificación. 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 y el aprendizaje, 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.

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. 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 estrategias y actitudes científicas (Hodson, 1992; Gil-Pérez et al., 1999).

Se propone, en síntesis, plantear el aprendizaje como un trabajo de *investigación y de innovación* a través del *tratamiento de situaciones problemáticas* relevantes para la construcción de conocimientos científicos y el logro de innovaciones tecnológicas

susceptibles de satisfacer determinadas necesidades. Ello ha de contemplarse como una actividad abierta y creativa, debidamente orientada por el profesor, que se inspira en el trabajo de científicos y tecnólogos, y que debería incluir toda una serie de aspectos como los que enumeramos seguidamente (Gil-Pérez et al., 1999; Gil-Pérez y Vilches, 2004):

* **La discusión del posible interés y relevancia de las situaciones** propuestas que dé sentido a su estudio y evite que los alumnos se vean sumergidos en el tratamiento de una situación sin haber podido siquiera formarse una primera idea motivadora o contemplado la necesaria *toma de decisiones*, por parte de la sociedad y de la comunidad científica, acerca de la conveniencia o no de dicho trabajo, teniendo en cuenta su posible contribución a la comprensión y *transformación* del mundo, sus repercusiones sociales y medioambientales, etc.

* **El estudio cualitativo, significativo, de las situaciones problemáticas** abordadas, que ayude a comprender y acotar dichas situaciones a la luz de los conocimientos disponibles, de los objetivos perseguidos... y a formular preguntas operativas sobre lo que se busca, lo que supone una ocasión para que los estudiantes comiencen a explicitar *funcionalmente* sus concepciones.

* **La invención de conceptos y emisión de hipótesis** fundamentadas en los conocimientos disponibles, susceptibles de focalizar y orientar el tratamiento de las situaciones, al tiempo que permiten a los estudiantes utilizar sus 'concepciones alternativas' para hacer predicciones susceptibles de ser sometidas a prueba.

* **La elaboración y puesta en práctica de estrategias de resolución**, incluyendo, en su caso, el diseño y realización de montajes experimentales para someter a prueba las hipótesis a la luz del cuerpo de conocimientos de que se dispone, lo que exige un trabajo de naturaleza tecnológica para la resolución de los problemas prácticos que suelen plantearse, como, por ejemplo, la disminución de las incertidumbres en las mediciones. Llamamos particularmente la atención sobre el interés de estos diseños y realización de experimentos que exigen y *ayudan a desarrollar* una multiplicidad de habilidades y conocimientos. Se rompe así con los aprendizajes mal llamados 'teóricos' (en realidad simplemente librescos) y se contribuye a mostrar la estrecha vinculación ciencia-tecnología.

* **El análisis y comunicación de los resultados**, cotejándolos con los obtenidos por otros grupos de estudiantes y asomándose a la evolución conceptual y metodológica experimentada históricamente por la comunidad científica. Ello puede convertirse en **oportunidad de conflicto cognoscitivo** entre distintas concepciones, tomadas todas ellas como hipótesis, y **favorecer la 'autorregulación'** de los estudiantes, obligando a concebir nuevas conjeturas, o nuevas soluciones técnicas, y a replantear la investigación. Es preciso detenerse aquí en la importancia de la comunicación como substrato de la dimensión colectiva del trabajo científico y tecnológico. Ello supone que los estudiantes se familiaricen con la lectura y *confección* de memorias científicas y trabajos de divulgación.

* **Las recapitulaciones y consideración de posibles perspectivas**: conexión de los conocimientos construidos con otros ya conocidos, considerando su contribución a la construcción de cuerpos coherentes de conocimientos que van ampliándose y

modificándose, con especial atención al establecimiento de puentes entre distintos dominios científicos, porque representan momentos cumbre del desarrollo científico y, en ocasiones, auténticas revoluciones científicas; elaboración y perfeccionamiento de los productos tecnológicos que se buscaban o que son concebidos como resultado de las investigaciones realizadas, lo que contribuye a romper con tratamientos excesivamente escolares y reforzar, así, el interés por la tarea; planteamiento de nuevos problemas... Todo ello se convierte en ocasión de manejo reiterado de los nuevos conocimientos en una variedad de situaciones, contribuyendo a su profundización y **resaltando en particular las relaciones Ciencia, Tecnología, Sociedad y Ambiente (CTSA)** que enmarcan el desarrollo científico, con atención a las repercusiones de toda índole de los conocimientos científicos y tecnológicos (desde la contribución de la ciencia y la técnica al desarrollo de la humanidad a los graves problemas que hipotecan su futuro), propiciando a este respecto la preparación ciudadana para la toma de decisiones, en la forma que ya hemos discutido en el apartado precedente.

Cabe insistir, además, en la necesidad de dirigir todo este tratamiento a mostrar el carácter de cuerpo coherente que tiene toda ciencia, favoreciendo, para ello, las **actividades de síntesis** (esquemas, memorias, recapitulaciones, mapas conceptuales...) y la **elaboración de productos**, susceptibles de romper con planteamientos excesivamente escolares, de reforzar el interés por la tarea y de mostrar la estrecha vinculación ciencia-tecnología.

Es conveniente remarcar, así mismo, que **las orientaciones precedentes no constituyen un algoritmo** que pretenda guiar paso a paso la actividad de los alumnos, sino indicaciones genéricas que llaman la atención sobre aspectos esenciales en la construcción de conocimientos científicos que, a menudo, no son suficientemente tenidos en cuenta en la educación científica. Nos referimos tanto a los aspectos metodológicos como a los axiológicos: relaciones CTSA, toma de decisiones, comunicación de los resultados... El aprendizaje de las ciencias es concebido, así, como un proceso de *investigación orientada* que permite a los alumnos **participar colectivamente en la aventura de enfrentar problemas relevantes y (re)construir los conocimientos científicos** (Hodson, 1992).

Esta orientación supone, ciertamente, “prestar mucha más atención de lo que es habitual en la educación científica a los aspectos culturales, sociales, morales y emotivos (...) y a los actitudinales y axiológicos” (Acevedo et al., 2005), pero ello no debe entenderse como la incorporación de “otros factores”, distintos de la NdC, sino como la superación de una distorsión de dicha NdC, que presenta el trabajo científico como una actividad descontextualizada, ajena a intereses y conflictos.

Se pretende favorecer así la alfabetización científica y tecnológica de la ciudadanía a través de una cierta inmersión en la cultura científica y tecnológica, fundamental para la formación de ciudadanas y ciudadanos críticos que habrán de participar en la toma de decisiones... *e igualmente fundamental para que los futuros científicos logren una mejor apropiación de los conocimientos elaborados por la comunidad científica.*

El enriquecimiento del currículo de enseñanza de las ciencias que reflejan las propuestas precedentes, reiteradamente puestas en práctica con estudiantes y con profesores en formación (Gil-Pérez et al., 2005), es un buen ejemplo de la incidencia

positiva que puede tener la clarificación de la NdC (y la tecnología), cuando dicha clarificación no queda en mera exposición verbal de determinadas características, sino que da paso a una autentica inmersión en una cultura científica y tecnológica.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 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. (1995). Educación tecnológica desde una perspectiva CTS. Una breve revisión del tema. *Alambique*, 3, 75-84.
- ACEVEDO, J. A. (1996). La tecnología en las relaciones CTS. Una aproximación al tema. *Enseñanza de las Ciencias*, 14(1), 35-44.
- ACEVEDO, J. A., VÁZQUEZ, A., MARTÍN, M., OLIVA, J. M., ACEVEDO, P., PAIXAO, F., MANASSERO, M. A. (2005). La naturaleza de la ciencia y la educación científica para la participación ciudadana. Una revisión crítica. *Revista Eureka sobre Enseñanza y divulgación de las Ciencias*, 2 (2) 121-140.
- ATKIN, J. M. y HELMS, J. (1993). Getting serious about priorities in science education. *Studies in Science Education*, 21, 1-20.
- BACHELARD, G. (1938). *La Formation de L'esprit scientifique*. Paris: Vrin.
- BELL, B. F. y LEDERMAN, N. (2003). Understandings of the nature of science and decision making on science and technology based issues. *Science Education*, 87 (3), 352-377.
- 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.
- BYBEE, R. (1991). Planet Earth in Crisis: How Should Science Educators Respond? *The American Biology Teacher*, 53(3), 146-153.
- BYBEE, R. (1997). Towards an Understanding of Scientific Literacy. En Graeber, W. y Bolte, C. (Eds) *Scientific Literacy*. Kiel: IPN.
- 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.
- CARSON, R. (1980). *Primavera Silenciosa*. Barcelona: Grijalbo.
- 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.
- COMISIÓN MUNDIAL DEL MEDIO AMBIENTE Y DEL DESARROLLO (1988). *Nuestro Futuro Común*. Madrid: Alianza.
- DeBOER, G. E. (2000). Scientific literacy: another look at its historical and contemporary meanings and its relationship to science education reform. *Journal of Research in Science Teaching*, 37(6), 582-601.
- DECLARACIÓN DE BUDAPEST (1999). *Marco general de acción de la declaración de Budapest*, <http://www.oei.org.co/cts/budapest.dec.htm>.

- 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 OLDFHAM, V. (1986). A constructivist approach to curriculum development in science. *Studies in Science Education*, 13, 105-122.
- EDWARDS, M., GIL-PÉREZ, D., VILCHES, A., PRAIA, J., VALDÉS, P., VITAL, M. L., CAÑAL, P., DEL CARMEN, L., RUEDA, C. y TRICÁRICO, H. (2001). Una propuesta para la transformación de las percepciones docentes acerca de la situación del mundo. Primeros resultados. *Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales*, 15, 37-67.
- ESTANY, A. (1990). *Modelos de cambio científico*. Barcelona: Editorial Crítica.
- FENSHAM, P. J. (2002a). Time to change Drivers for Scientific Literacy. *Canadian Journal of Science, Mathematics and Technology Education*, 2(1), 9-24.
- FENSHAM, P. J. (2002b). De nouveaux guides pour l'alphabétisation scientifique. *Canadian Journal of Science, Mathematics and Technology Education*, 2(2), 133-149.
- 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).
- FOUREZ, G. (1997). *Alfabetización científica y tecnológica. Acerca de las finalidades de la enseñanza de las ciencias*. Buenos Aires: Colihue.
- 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., GALLEGO, N., GENÉ, A., GONZÁLEZ, E., GUIASOLA, J., MARTINEZ, 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.; MARTINEZ TORREGROSA, J. (1991). *La enseñanza de las ciencias en la educación secundaria*. ICE/ Universidad de Barcelona. Barcelona: Horsori.
- GIL-PÉREZ, D. y VILCHES, A. (2001). Una alfabetización científica para el siglo XXI. Obstáculos y propuestas de actuación. *Investigación en la Escuela*, 43, 27-37.
- GIL-PÉREZ, D. y VILCHES, A. (2003). Technology as "applied science": a serious misconception of the nature of technology and the *nature of science*. Pp. 342-352. 7th International History, Philosophy of Science and Science Teaching Conference Proceedings. Pp. 342-352. Winnipeg.
- GIL-PÉREZ, D. y VILCHES, A. (2004). La contribución de la ciencia a la cultura ciudadana. *Cultura y Educación*, 16 (3), 259-272.
- GIL-PÉREZ, D. y VILCHES, A. (2005). Contribution of Science and technological Education to Citizens' Culture. *Canadian Journal of Science, Mathematics, & Technology Education*, 5, (2), 85-95.
- GIL-PÉREZ, D., VILCHES, A., EDWARDS, M., PRAIA, J., MARQUES, L. y OLIVEIRA, T. (2003). A proposal to enrich teachers' perception of the state of the world. First results. *Environmental Education Research*, 9(1), 67-90.
- GIL-PÉREZ, D., VILCHES, A., FERNÁNDEZ, I., CACHAPUZ, A., PRAIA, J., VALDÉS, P. y SALINAS, J. (2005). Technology as 'Applied Science': a Serious misconception that Reinforces Distorted and Impoverished Views of Science. *Science & Education*, Vol. 14, 3,4,5 (Aceptado para publicación).
- 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.
- GILBERT, 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, 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.
- 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.
- HICKS, D. y HOLDEN, C. (1995). Exploring The Future A Missing Dimension in Environmental Education. *Environmental Education Research*, 1(2), 185-193.
- 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.
- LAUDAN, L. (1984). *Science and values: the aims of science and their role in the scientific debate*. Berkeley: University of California Press.
- 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 (Ed). *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.
- MITCHAM, C. (1989). *¿Qué es la filosofía de la tecnología?* Barcelona: Anthropos-Servicio Editorial del País Vasco.
- MOSTERÍN J. (1990). Prólogo al libro de Estany, A., *Modelos de cambio científico*. Barcelona: Crítica.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL (1996). *National Science Education Standards*. Washington D.C.: National Academy Press.
- NIERENBERG, D. y HALWEIL, B. (2005). Cultivando seguridad alimentaria. En The Worldwatch Institute, *La situación del mundo 2005*. Barcelona: Icaria.
- 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.
- 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.
- SHAMOS, M. (1995). *The Myth of Scientific Literacy*. New Brunswick (NJ): Rutgers University Press.
- 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., 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.
- VILCHES, A. y GIL-PÉREZ, D. (2003). *Construyamos un futuro sostenible. Diálogos de supervivencia*. Madrid: Cambridge University Press.
- VILCHES, A., SOLBES, J., y GIL-PÉREZ, D. (2004). Alfabetización científica para todos contra ciencia para futuros científicos. *Alambique*, 41, pp. 89-98.

SUMMARY

This paper aims to contribute to the debate on the role of the nature of science and technology in science education, paying particular attention to preparing citizens to participate in decision making.

Key words: *Nature of science and technology; Scientific literacy; Immersion in a scientific and technological culture; Science-Technology-Environment-Society (STES) relationships; Education for responsible citizenship; Decision making.*