

REVISTA IBERO— —AMERICANA

de Educación

de Educação



Organización
de Estados
Iberoamericanos

para la Educación,
la Ciencia
y la Cultura

NÚMERO 28

Monográfico: Enseñanza de la tecnología / *Ensino da tecnologia*

Enero-Abril 2002 / Janeiro-Abril 2002

TÍTULO: Papel de la tecnología en la educación
científica: una dimensión olvidada

AUTOR: Alberto Maiztegui y otros

PAPEL DE LA TECNOLOGÍA EN LA EDUCACIÓN CIENTÍFICA: UNA DIMENSIÓN OLVIDADA

Alberto Maiztegui y otros (*)

SÍNTESIS: El actual movimiento en pro de una «alfabetización *tecnológica*» ha venido a cuestionar algunos supuestos implícitos en la orientación de la educación científica, que se traducen, de facto, en el olvido de la dimensión tecnológica. En este trabajo se analizan dichos supuestos y se extraen algunas implicaciones que representan un enriquecimiento de la educación científica con la incorporación de aspectos esenciales hasta aquí ignorados. Se pretende, así mismo, mostrar la existencia de una convergencia básica en torno a unas propuestas de enseñanza-aprendizaje de las ciencias que superen las estrategias basadas en la simple transmisión-recepción de conocimientos, subrayando la contribución de la dimensión tecnológica al desarrollo de dichas propuestas.

SÍNTESE: *O atual movimento em prol de uma «alfabetização tecnológica» tem questionado algumas suposições implícitas na orientação da educação científica, que se traduzem, de fato, no esquecimento da dimensão tecnológica. Neste trabalho analisam-se tais suposições e se extraem algumas implicações que representam um enriquecimento da educação científica com a incorporação de aspectos essenciais até aqui ignorados. Pretende-se, assim, mostrar a existência de uma convergência básica em torno de umas propostas de ensino-aprendizagem das ciências que superem as estratégias baseadas na simples transmissão-recepção de conhecimentos, ressaltando a contribuição da dimensão tecnológica ao desenvolvimento de tais propostas.*

129

(*) A. Maiztegui, *Presidente de la Academia Nacional de Ciencias, Argentina*; J. A. Acevedo, *Consejería de Educación, Andalucía, España*; A. Caamaño, *Universidad de Barcelona, España*; A. Cachapuz, *Universidade de Aveiro, Portugal*; P. Cañal, *Universidad de Sevilla, España*; A. M. P. Carvalho, *Universidade de São Paulo, Brasil*; L. del Carmen, *Universidad de Gerona, España*; A. Dumas Carré, *IUFM d'Aix Marsella, Francia*; A. Garritz, *Universidad Nacional Autónoma de México*; D. Gil, *Universidad de Valencia, España*; E. González, *Universidad de Córdoba, Argentina*; A. Gras-Martí, *Universidad de Alicante, España*; J. Guisasola, *Universidad del País Vasco (EHU), España*; J. A. López-Cerezo, *Universidad de Oviedo, España*; B. Macedo, *UNESCO, Oficina Regional de Chile*; J. Martínez-Torregrosa, *Universidad de Alicante, España*; A. Moreno, *Universidad Complutense, Madrid, España*; J. Praia, *Universidade do Porto, Portugal*; C. Rueda, *Universidad Nacional Autónoma de México, México*; H. Tricárico, *Universidad de San Martín, Argentina*; P. Valdés, *Instituto Superior Pedagógico, La Habana, Cuba*; A. Vilches, *Universidad de Valencia, España*.

1. LA ENSEÑANZA DE LA TECNOLOGÍA: UNA DIMENSIÓN OLVIDADA EN LA EDUCACIÓN CIENTÍFICA

A lo largo de estos últimos años hemos asistido a un potente movimiento de reivindicación y promoción de una «alfabetización científica» como parte esencial de una educación básica para todos los ciudadanos y ciudadanas (Fourez, *et al.*, 1994; National Research Council, 1996; Bybee, 1997; Membiela, 1997; Cross, 1999; de Boer, 2000; Laugksch, 2000; Marco, 2000).

No vamos a detenernos aquí en la fundamentada argumentación avanzada por numerosos autores e instituciones en apoyo de dicha alfabetización científica. Podemos recordar, sucintamente, algunas razones recogidas en un reciente trabajo (Gil y Vilches, 2001).

La propuesta actual de una alfabetización científica para todos los ciudadanos y ciudadanas va más allá de la tradicional importancia concedida –más verbal que real– a la educación científica y tecnológica, para hacer posible el desarrollo «futuro». Esa alfabetización científica se ha convertido, en opinión de los expertos, en una exigencia urgente, en un factor esencial del desarrollo de las personas y de los pueblos también a corto plazo.

Así se afirma, por ejemplo, en los National Science Education Standards, auspiciados en los Estados Unidos por el National Research Council (1996), en cuya primera página podemos leer: «En un mundo repleto de productos de la investigación científica, la alfabetización científica se ha convertido en una necesidad para todos: todos necesitamos utilizar la información científica para realizar opciones que se plantean cada día; todos necesitamos ser capaces de implicarnos en discusiones públicas acerca de asuntos importantes que se relacionan con la ciencia y la tecnología; y todos merecemos compartir la emoción y la realización personal que puede producir la comprensión del mundo natural». No es extraño, por ello, que se haya llegado a establecer una analogía entre la alfabetización básica iniciada el siglo pasado y el actual movimiento de alfabetización científica y tecnológica (Fourez, *et al.*, 1994).

Más recientemente, en la Conferencia Mundial sobre la Ciencia para el siglo XXI, auspiciada por la UNESCO y el Consejo Internacional para la Ciencia, se declaraba: «Para que un país esté en condiciones de atender a las necesidades fundamentales de su población, la enseñanza de las ciencias y de la tecnología es un imperativo estratégico. Como parte

de esa educación científica y tecnológica, los estudiantes deberían aprender a resolver problemas concretos y a atender a las necesidades de la sociedad, utilizando sus competencias y conocimientos científicos y tecnológicos». Y se añade: «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 las aplicaciones de los nuevos conocimientos» (Declaración de Budapest, 1999).

La importancia concedida a la alfabetización científica de todas las personas ha sido también puesta de manifiesto en gran número de investigaciones, publicaciones, congresos y encuentros, que, bajo el lema «ciencia para todos», se vienen realizando (Bybee y de Boer, 1994; Bybee, 1997; Marco, 2000; Moreno, 2000). De hecho, en muchos países se están llevando a cabo reformas educativas que, como en el caso de España, contemplan la alfabetización científica y tecnológica como una de sus principales finalidades.

No insistiremos más en algo que parece concitar un amplio consenso, y destacaremos que, como se habrá podido constatar en las citas que hemos reproducido, las reflexiones y las propuestas suelen referirse explícitamente al binomio ciencia-tecnología. En realidad, las referencias a la técnica y a la tecnología –sin pretender entrar aquí en la distinción entre ambas (Bunge, 1985)– son constantes en todos los autores que hablan de alfabetización científica o de «ciencia para todos».

Por otra parte, el impulso dado a la alfabetización científica confluye con el que viene promoviendo una mayor atención a las relaciones ciencia-tecnología-sociedad como una de las dimensiones básicas de la educación científica (Solomon y Aikenhead, 1994; Caamaño, *et al.*, 1995; González, López y Luján, 1996; Solbes y Vilches, 1997; Martins, *et al.*, 2000; Membiela, *et al.*, 2001).

Todo parece indicar que la educación científica se ha entendido como «educación científica y tecnológica». Sin embargo, en los últimos años ha comenzado a verse la necesidad de incluir la tecnología, específica y explícitamente, como parte de la educación general. Ello se ha puesto de manifiesto, por ejemplo, en la Segunda Conferencia Internacional de Educación Científica y Tecnológica, llevada a cabo en Jerusalén en 1996 (de Vries y Tamir, 1997), y, más recientemente, en los *Standards for Technological Literacy* que acaba de publicar la International Technology Education Association (2000). Hemos de

reconocer que esta reivindicación de una alfabetización específicamente tecnológica, en la que están insistiendo diversos tratadistas (Ginestié, 1997; Cajas, 1999, 2000; Bybee, 2000; Wulf, 2000; Anderson y Helms, 2001) ha constituido una cierta sorpresa para muchos de los autores de este trabajo, pese a la existencia de algunos precedentes en el campo de la didáctica de las ciencias (Layton, 1988; Fleming, 1989; Lewis, 1991; Gilbert, 1992; Gardner, 1994; Solomon, 1995; Acevedo, 1995, 1996) y de diversas tradiciones que han resaltado el valor educativo de la actividad técnica y de la aproximación de la escuela al mundo laboral (Dewey, 1945; Freinet, 1971; Schools Council, 1971). Una sorpresa que ha dejado paso al reconocimiento de no haber prestado hasta aquí suficiente atención a la tecnología y a su papel en la educación científica, como si la expresión ciencia-tecnología designara un concepto único, asumido por la educación científica, que hiciera innecesaria la consideración de cualquier aporte específico de la educación tecnológica (Gardner, 1994, 1997). Basta repasar los trabajos publicados en los últimos años en revistas como *International Journal of Science Education*, *Science Education* o *Journal of Research in Science Teaching*, muchos de los cuales abordan el tema de la alfabetización científica, para percatarse de la escasa atención que han prestado los investigadores al papel de la tecnología en la educación científica en el ámbito internacional.

Ello afectaría incluso a quienes venimos reclamando la incorporación de las llamadas relaciones ciencia-tecnología-sociedad, por lo que el enfoque dado a dichas relaciones podría estar lastrado por una visión superficial del papel de la tecnología, que influiría negativamente en la orientación dada a toda la educación científica, hasta el punto de que en la mayoría de los proyectos pioneros CTS –desarrollados a finales de los setenta y en los ochenta– la «T» mayúscula del acrónimo apenas si alcanzaba el tamaño de una «t» minúscula (Layton, 1988), situación que ha persistido en muchos de los proyectos de los noventa. De hecho, algunos autores (Acevedo, 1998) señalan que, a pesar de los esfuerzos que se vienen realizando desde los años ochenta para orientar los contenidos de los currículos de ciencias desde una perspectiva CTS, se ha contribuido poco a profundizar en las relaciones entre ciencia y tecnología.

No deja de ser sorprendente, insistimos, que estemos abogando por la incorporación de las relaciones CTS como una dimensión básica de la educación científica sin que apenas nos hayamos planteado cuáles son las relaciones ciencia-tecnología. Ello lleva a suponer que dichas relacio-

nes CT son concebidas como algo claro, obvio, que no precisa mayor atención. Pero cabe sospechar, una vez más, que lo que aceptamos como obvio constituye un obstáculo fundamental para una adecuada comprensión de los campos implicados, en este caso la educación científica y la tecnológica.

Hablar de la tecnología como «dimensión olvidada», tal como hacemos en el título de este apartado, no sólo supone señalar una insuficiente presencia de la tecnología en la educación científica, sino, ante todo, reconocer una falta de reflexión acerca de la naturaleza y el papel de la tecnología que afectaría a los propios investigadores.

Debemos resaltar, sin embargo, que esta toma de conciencia de las insuficiencias de nuestra aproximación a las relaciones CT –y, por extensión, a las relaciones CTS– no debe verse como algo negativo. Al contrario, el cuestionamiento de lo que se aceptaba como obvio está detrás de algunos de los grandes avances en el desarrollo científico en general, y en la educación científica en particular.

Creemos necesario proceder a una reflexión en torno al papel de la tecnología, realizada «desde la educación científica». Una reflexión sin duda parcial, que reclama su confrontación con los puntos de vista de quienes se ocupan específicamente de la educación tecnológica. Hacemos así patentes los límites de nuestro trabajo, al tiempo que la voluntad de aproximarnos a una problemática que intuimos ha de jugar un papel esencial en el actual movimiento en pro de una alfabetización científica «y tecnológica» de todos los ciudadanos y ciudadanas.

Atendiendo a las consideraciones precedentes, nos proponemos en este trabajo someter a análisis crítico las concepciones acerca de las relaciones ciencia-tecnología, y extraer consecuencias para un planteamiento más adecuado de la educación científica.

2. LAS RELACIONES CIENCIA-TECNOLOGÍA: MÁS ALLÁ DE LA IDEA DE TECNOLOGÍA COMO «APLICACIÓN» DE LOS CONOCIMIENTOS CIENTÍFICOS

Como han señalado diversos autores (Gardner, 1994; Acevedo, 1996, 1998; Bybee, 2000), la falta de atención a la tecnología sería el resultado de concepciones erróneas acerca de la misma y de sus relacio-

nes con la ciencia. Concepciones que reclaman un esfuerzo de clarificación (Price y Cross, 1995), debido no tanto a posibles confusiones entre ciencia y tecnología, cuanto a que cabe temer que aspectos clave de la actividad científica y/o tecnológica puedan quedar relegados.

Debemos referirnos en este sentido a la concepción dominante, que considera a la tecnología como «ciencia aplicada» (Luján, 1989; Sanmartín, 1990; Gardner, 1994; González, López Cerezo y Luján, 1996; Bunge, 1997; Acevedo, 1998; Carvalho y Vannucchi, 1998; Bybee, 2000), y, por ello, como algo sencillo que no reclama especial atención en la educación científica. Incluso es significativo que la propia definición de tecnología, aparecida por ejemplo en las primeras versiones del proyecto SATIS (Science and Technology in Society), asumiera esta concepción: «el proceso por medio del cual se hace posible la aplicación de la ciencia para satisfacer las necesidades humanas» (citado en Acevedo, 1998).

De hecho, la tecnología ha sido vista tradicionalmente como una actividad de menor estatus que la ciencia «pura» (Martinand, 1986; Acevedo, 1996; González, López Cerezo y Luján, 1996; de Vries, 1996; Cajas, 1999 y 2001), por más que ello haya sido rebatido por epistemólogos como Bunge (1976 y 1997). Hasta hace muy poco su estudio no formaba parte de la educación general de los ciudadanos (Gilbert, 1992, 1995), sino que quedaba relegada, en el nivel secundario, a la llamada formación profesional, a la que se orientaba a los estudiantes con peores rendimientos escolares, procedentes con frecuencia de los sectores sociales más desfavorecidos (Rodríguez, 1998). Ello respondía a la tradicional primacía social del trabajo «intelectual» frente a las actividades prácticas, «manuales», propias de las técnicas (Medina, 1988, 1989; Medway, 1989; López Cubino, 2001).

La extensión de esta visión de la tecnología queda patente al analizar los textos escolares de ciencias, que suelen limitar el tratamiento de la misma a la simple inclusión de algunas aplicaciones de los conocimientos científicos (Solbes y Vilches, 1997, 1998).

Sin embargo, es relativamente fácil cuestionar esta visión simplista de las relaciones ciencia-tecnología: basta reflexionar brevemente sobre el desarrollo histórico de ambas (Gardner, 1994; Garritz, 1996; Niiniluoto, 1997; Quintanilla y Sánchez Ron, 1997; Carvalho y Vannucchi, 1998) 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. Pero, desde nuestro punto de vista, lo más importante es clarificar lo que la educación científica de los ciudadanos y ciudadanas pierde con esta infravaloración 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 trazar una separación neta 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. Bunge (1985) reserva el nombre de tecnología a aquella técnica «compatible con la ciencia coetánea y controlable por el método científico». 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, por no tener excesivo interés, clasificar un trabajo como puramente científico o como puramente tecnológico.

De hecho, ninguna definición de las manejadas actualmente permite separar con claridad la ciencia de la tecnología. Veamos, por ejemplo, la definición de tecnología dada por la UNESCO (1983): «Tecnología es el saber hacer y el proceso creativo que puede utilizar herramientas, recursos y sistemas para resolver problemas, para aumentar el control sobre el medio natural y el creado por los seres humanos, con objeto de mejorar la condición humana» (citado por Gilbert, 1992). Resulta difícil ver en dicha definición algo que excluya la actividad científica.

Por el contrario, sí interesa destacar algunos aspectos de la relación ciencia-tecnología, con objeto de evitar visiones deformadas que empobrecen la educación científica y la tecnológica. En primer lugar, es preciso insistir en los miles de años de técnica precientífica, en su naturaleza de tratamiento de problemas concretos, más próximos a los que pueden plantearse inicialmente jóvenes sin formación científica (Schauble, *et al.*, 1991). Un planteamiento muy alejado de las características básicas de la actividad científica, y, en particular, de la búsqueda de coherencia global, es decir, de la construcción de cuerpos cohesión de conocimientos. Esta separación, en general, se prolongó hasta avanzado el siglo XIX, y aunque algunos científicos se aproximaron a la técnica, la

mayor parte de los que contribuyeron a su desarrollo fueron maestros de oficios y artesanos cuyas actividades se basaban casi siempre en experiencias prácticas que se transmitían de maestros oficiales a aprendices y evolucionaban con lentitud.

Podemos afirmar que durante mucho tiempo ha habido desarrollo técnico sin relación con la ciencia, cuyas estrategias y constructos tienen un origen muy reciente en la historia de la humanidad, que la mayoría de los autores sitúa entre mediados del siglo XVI y finales del XVIII (Quintanilla y Sánchez Ron, 1997). Ello permite comenzar a romper con la idea común de la tecnología como subproducto de la ciencia, como «aplicación del conocimiento científico».

Por otra parte, la técnica y la tecnología tuvieron a lo largo de todo ese tiempo características específicas que siguen presentes en el actual desarrollo científico-tecnológico, y que merecen ser resaltadas e incorporadas a la educación científica.

El objetivo de los tecnólogos ha sido y sigue siendo producir y mejorar instrumentos, 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; Bunge, 1997). Ello no significa que no utilicen o creen conocimientos, sino que los construya para situaciones específicas reales (Cajas, 1999), y por tanto complejas, en las que no es posible dejar de lado toda una serie de aspectos colaterales que en una investigación científica pueden ser obviados, pero que es preciso contemplar para la construcción y manejo de objetos tecnológicos que han de funcionar en la vida real. Tal como señala Staudenmaier (1985), el conocimiento tecnológico «está estructurado por la tensión entre las demandas de diseño funcional y las restricciones específicas del entorno», y su delimitación reside en que está «estructuralmente orientado hacia la práctica concreta». En consecuencia, «los tecnólogos tienen que reelaborar los conceptos científicos para poder utilizarlos» (Layton, 1988). Por ello, aunque la ciencia puede jugar hoy un importante papel en los diseños tecnológicos, los ingenieros han de integrar diferentes clases de conocimientos de forma muy utilitaria (el *know-how*), guiados por las exigencias de un diseño específico y las limitaciones que impone la realidad (tipo de materiales, costes, etc.). Se trata, insiste Cajas (1999), de una aproximación similar a la que utilizamos en el tratamiento de los problemas de la vida diaria: para la tecnología, al igual que para la vida diaria, los conocimientos –algunos acumulados a lo largo de siglos

de actividad práctica (Quintanilla y Sánchez Ron, 1997)– son un medio más que un fin (Bunge, 1997).

En realidad, la tecnología está directamente orientada a incidir en la vida cotidiana, a lograr el funcionamiento continuo de instrumentos y sistemas. Esto hace que las situaciones abordadas no puedan simplificarse conceptual y prácticamente para su estudio, sino que han de tenerse en cuenta todos los factores que intervienen en condiciones reales. De este modo, el estudio resulta a la vez más limitado (interesa resolver una cuestión específica, no construir un cuerpo de conocimientos) y más complejo (no es posible trabajar en condiciones «ideales», fruto de análisis capaces de eliminar influencias «espurias»).

El «cómo» se convierte en la pregunta central, por encima del «porqué». Un cómo que, en general, no puede responderse únicamente a partir de principios científicos: al pasar de los diseños a la realización de prototipos y de éstos a la optimización de los procesos para su producción real, son innumerables –y a menudo insospechados– los problemas que deben resolverse. El resultado final ha de ser el funcionamiento correcto de los instrumentos, sistemas o procesos en las situaciones requeridas (Moreno, 1988).

Esta compleja interacción de comprensión y acción en situaciones específicas pero reales, no «puras», es lo que caracteriza el trabajo tecnológico (Hill, 1998; Cajas, 1999). Como vemos, en modo alguno puede concebirse la tecnología como mera aplicación de los conocimientos científicos: las baterías de plomo de los automóviles, por ejemplo, no consisten sólo en la aplicación de las reacciones electroquímicas, como a menudo se presentan (Gardner, 1994). Esas baterías, explica Gardner, son sistemas tecnológicos muy complejos en los que otro aspecto crucial (pero raramente mencionado) es la reversibilidad del equilibrio sólido/disolución en ambos electrodos, sin lo cual no sería posible su recarga.

No debemos ignorar ni infravalorar los procesos de diseño necesarios para convertir en realidad los instrumentos 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 familiarizarlos con lo que supone la concepción y

realización práctica de herramientas y su manejo real, superando los habituales tratamientos puramente librescos y verbalistas.

Estos planteamientos, en general, afectan también a las propuestas de incorporación de la dimensión CTS, que 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 de las «decisiones» que se adopten... pero que han dejado a un lado otros aspectos clave de lo que supone la tecnología: el análisis medios-fines, el diseño y realización de prototipos, 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.

Precisamente el objetivo de conectar la ciencia escolar con el mundo real impulsa a explorar la potencialidad de la tecnología para la educación general (Hill, 1998; Cajas, 1999 y 2001; Vázquez, *et al.*, 2001) como punto de encuentro de saberes de muy distinta naturaleza, pero que se relacionan entre sí para resolver problemas concretos de la vida real. Todo ello, afirma Bybee (2000), redundaría en interés de la ciencia, de la educación científica y de la sociedad. Bybee, por ello, insiste en que la alfabetización tecnológica constituye un imperativo para el siglo XXI.

138

Ahora bien, ¿en qué medida esta mayor atención que se reclama para la tecnología no supone una «desviación» que perjudica a la formación más «propiamente científica»? Intentaremos mostrar que, por el contrario, el desarrollo científico resultaría imposible sin las aportaciones de la tecnología, y que, en consecuencia, una mayor atención a la tecnología es un requisito para una educación científica de calidad, capaz de favorecer la adquisición significativa de conocimientos científicos, el interés hacia la ciencia y la toma fundamentada de decisiones (Aikenhead, 1985) en diversos contextos.

3. EL PAPEL DE LA TECNOLOGÍA EN EL DESARROLLO CIENTÍFICO

En el apartado anterior hemos intentado dejar claro que la tecnología no es la simple «aplicación» de conocimientos científicos.

Ahora trataremos de cuestionar una segunda visión deformada que contempla a la ciencia y la tecnología como independientes, con diferentes objetivos, métodos y productos (Gardner, 1994; González, López Cerezo y Luján, 1996; Acevedo, 1997), y que, por tanto, contribuye también a que la educación científica ignore la tecnología. Esta separación suele justificarse afirmando que la diferencia entre la ciencia y la tecnología reside en que abordan dos tipos distintos de problemas: uno cuya finalidad «es la explicación», y que se caracterizaría por responder a la pregunta «¿por qué?». Y otro cuya finalidad es «hacer algo» (objeto, sistema, proceso), y que puede caracterizarse por responder a la pregunta «¿cómo hacerlo?». Sin embargo, se trata de una simplificación abusiva de la naturaleza de la ciencia, puesto que el conocimiento científico se basa, mucho más que en la explicación, en la «predicción», y ello obliga a «hacer algo» para someter a prueba las predicciones, lo que conlleva plantear el «cómo», supuestamente una característica diferenciadora de la tecnología. Pero, además, la finalidad de la ciencia no es sólo hacer representaciones del mundo para comprenderlo mejor, sino también para intervenir en él.

Frente a esta concepción que separa del todo ciencia y tecnología —en la que sigue detectándose la distinta valoración social del trabajo «manual» e «intelectual»— hemos de afirmar con rotundidad que, si bien la tecnología se ha desarrollado durante milenios sin el concurso de la ciencia, inexistente hasta hace muy poco (Niiniluoto, 1997; Quintanilla, y Sánchez Ron, 1997), la construcción del conocimiento científico ha sido y sigue siendo siempre deudora de la tecnología: basta recordar que para someter a prueba las hipótesis que focalizan una investigación estamos obligados a construir diseños experimentales; y hablar de «diseños» es ya utilizar un lenguaje tecnológico.

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

Cuando, por ejemplo Galileo concibe la idea de «debilitar» la caída de los cuerpos mediante el uso de un plano inclinado de fricción despreciable, con objeto de someter a prueba la hipótesis de que la caída de los graves constituye un movimiento de aceleración constante, la propuesta resulta conceptualmente muy sencilla: si la caída libre tiene lugar con aceleración constante, el movimiento de un cuerpo que se deslice 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 significa 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... 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 de conocimientos. Y lo mismo puede decirse de cualquier diseño experimental, incluso de los más sencillos.

No basta con 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 centro de la actividad científica; la expresión «diseño» experimental es perfectamente ilustrativa a este respecto.

Por desgracia, las prácticas de laboratorio escamotean a los estudiantes (¡incluso en la universidad!), 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 se impide tanto una cierta familiarización con la resolución de problemas tecnológicos, como la comprensión de «uno de los papeles principales» que la tecnología juega en el desarrollo científico. Y decimos «uno de los papeles» porque la contribución de la tecnología al desarrollo científico no se reduce a esto, por muy importante que sea; cada instrumento construido, cada logro tecnológico refuerza el cuerpo de conocimientos en que se fundamenta: la cámara oscura, el microscopio, las gafas, los telescopios... además de instrumentos útiles constituyen «pruebas experimentales» de la validez

de la óptica geométrica. La tecnología constituye hoy una reiterada puesta a prueba de los conocimientos científicos.

Por otro lado, buena parte de la investigación científica tiene su origen en necesidades prácticas, es decir, en la búsqueda de soluciones adecuadas para problemas tecnológicos previos. De nuevo, no es sólo cuestión de señalar algunos ejemplos clásicos (el punto de partida de la revolución industrial fue la máquina de Newcomen, que era fundidor y herrero...): toda investigación responde a problemas, y, a menudo, esos problemas tienen una vinculación directa con necesidades humanas, y, por tanto, con desarrollos tecnológicos. 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».

Cabe concluir que, si bien la tecnología precedió a la ciencia históricamente, y, según algunos autores, también ontológicamente en el sentido de que la manipulación y la experiencia con utensilios es necesaria para el desarrollo intelectual (Gardner, 1994), en la actualidad las relaciones ciencia-tecnología constituyen una interacción que se traduce en influencia mutua. Más aún, no importa que el objetivo sea profundizar en el cuerpo de conocimientos o lograr un avance tecnológico: hoy, en ambos casos, los problemas se abordan a partir del cuerpo de conocimientos disponible, procediendo a construcciones tentativas (hipótesis) que focalizan el estudio y que se someten a prueba... es decir, los problemas, todos los problemas de una cierta envergadura, se abordan siguiendo las estrategias del trabajo científico (Bunge, 1985). Al mismo tiempo, ese trabajo científico incorpora «siempre» los instrumentos y estrategias del diseño tecnológico, por lo general la problemática y los objetivos de la tecnología. Podemos afirmar que la tecnología actual se apoya en la ciencia y constituye un requisito de la propia ciencia. ¿Qué ciencia puede concebirse hoy que no recurra, por ejemplo, a las nuevas tecnologías de la información? (Valdés y Valdés, 1994).

Dar más importancia a la tecnología no supone ninguna «desviación» que perjudique a la formación científica, sino la incorporación de aspectos que son esenciales en dicha actividad, pero a los que la educación científica no ha prestado la debida atención, como son el diseño y realización de los montajes experimentales y la construcción de aquellos instrumentos de medida que han pasado a ser imprescindibles para la investigación y, a la vez, para otros usos prácticos (pensemos, por ejemplo, para el caso de la electricidad, en los amperímetros, voltímetros,

resistores, potenciómetros...), la construcción y manejo de utensilios presentes en nuestra vida diaria, e incluso la comprensión de las propias interacciones entre la ciencia y la tecnología.

Se comprende así la necesidad de una dimensión tecnológica que salga al paso del olvido de aspectos fundamentales como los señalados, o, dicho de otra manera, la necesidad de revisar la orientación dada hasta aquí al aprendizaje de las ciencias, incorporando actividades que permitan aprender ciencias investigando, también, problemas tecnológicos.

4. PROFUNDIZAR EN EL APRENDIZAJE DE LAS CIENCIAS COMO INVESTIGACIÓN

Bybee y Loucks-Horsley (2000) señalan que la investigación educativa sugiere orientar la formación tecnológica hacia actividades semejantes a las que los tecnólogos realizan para resolver problemas y producir nuevos productos. Se trata de facilitar una cierta inmersión en una cultura tecnológica, tal como hemos reclamado hasta aquí la inmersión en una cultura científica (Martinand, 1986; Bybee, 1997): si ello se ha traducido en una orientación del aprendizaje de las ciencias como un trabajo de investigación que permite a los estudiantes reconstruir los conocimientos científicos (con el apoyo de profesores familiarizados con la actividad investigadora), ahora se trataría de promover también el aprendizaje de la tecnología como un trabajo de innovación (dirigido por profesores familiarizados con este tipo de actividad), parte integrante e indisoluble de esa inmersión en la cultura científica.

Queremos insistir en que esta alfabetización tecnológica no debe entenderse como algo que se debe proporcionar «exclusivamente» desde un área de tecnología. Ello contribuiría a reforzar la concepción errónea que contempla la ciencia y la tecnología como independientes. Sin cuestionar la existencia de un área específica de educación tecnológica que permita profundizar en dicho campo, lo que hemos intentado mostrar en el apartado anterior es la necesidad de que la educación científica incorpore la dimensión tecnológica como algo consubstancial a la propia actividad científica, cuyo olvido se traduce en empobrecimiento y falta de efectividad de la educación científica.

La exclusión de la tecnología de los currículos escolares de ciencia no es sino una muestra más de las diferencias de prestigio entre ciencia y tecnología (Gardner, 1999), que se remontan al menos hasta el pensamiento griego clásico.

El mismo presidente de la National Academy of Engineering de Estados Unidos, William A. Wulf (2000), sostiene que el objetivo de una alfabetización tecnológica requiere que los contenidos de tecnología sean proporcionados por un amplio abanico de profesores –de matemáticas, ciencias, lengua, arte, estudios sociales e historia–, y que esos contenidos no deben ser presentados en cursos específicos de tecnología, sobre todo en los niveles elementales, sino de forma transversal e integrada.

Por otra parte, en la medida en que la tecnología y el trabajo científico se relacionan tan estrechamente como hemos intentado mostrar, las propuestas de aprendizaje de las ciencias como investigación –que intentan aproximar el trabajo de los estudiantes a las estrategias de la investigación científica– deben poder integrar sin dificultad la dimensión tecnológica. De este modo, el modelo de aprendizaje de las ciencias como investigación podría pasar a ser denominado «aprendizaje de las ciencias como investigación científica y “tecnológica”», para resaltar como es debido el papel de la tecnología.

143

Antes de seguir queremos precisar algo que nos parece fundamental: las propuestas de educación científica que desarrollamos en este trabajo se centran en la etapa secundaria y en modo alguno pretenden extenderse a la educación infantil y primaria, que reclaman un tratamiento diferenciado (Colub y Kolen, 1976; Kamii y de Vries, 1978).

4.1 EL APRENDIZAJE DE LAS CIENCIAS COMO INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA

Las propuestas de aproximar el aprendizaje de las ciencias a una investigación orientada han sido expresadas de una u otra forma por numerosos autores, y aparecen como fruto esencial de la investigación en didáctica de las ciencias, tal como reflejan un sinnúmero de trabajos citados en los diversos *handbooks* publicados (Gabel, 1994; Fraser y Tobin, 1998; Perales y Cañal, 2000).

Cabe señalar que, con frecuencia, dichas propuestas contienen implícitamente referencias al papel de la tecnología, puesto que plan-

tean, por ejemplo, la discusión del interés y la relevancia de la problemática investigada, hablan de diseños experimentales e insisten en la necesidad de poner un énfasis especial en las relaciones CTS (Gil, *et al.*, 1999). Pero son, en general, referencias embrionarias que no responden a una reflexión profunda acerca del papel de la tecnología, por lo que podríamos decir que se trata de una propuesta que «permite» la incorporación de la dimensión tecnológica. No basta con hablar, por ejemplo, de relaciones CTS para afirmar que se presta la debida atención a la tecnología, si con ello estamos pensando sólo en la contextualización del trabajo científico, en el estudio de sus aplicaciones y posibles repercusiones. Se necesita hacer explícito el papel que se reconoce a la tecnología, para que expresiones como «alfabetización científica y tecnológica» dejen de ser eslóganes vacíos por lo que a la tecnología se refiere.

Presentaremos por ello un intento de transformación de las propuestas de aprendizaje de las ciencias como investigación para que incorporen más efectivamente la dimensión tecnológica.

La idea central en la que venimos insistiendo es la de la necesidad de concebir la alfabetización científica como una inmersión en una cultura no sólo por el nombre «científico-tecnológica» (pero que ignora de hecho la tecnología), sino «realmente» científico-tecnológica. Y ello supone aproximar en alguna medida el trabajo de los estudiantes a lo que hacen los científicos... y «también» a lo que hacen los tecnólogos, teniendo presentes las estrechas relaciones de ambas actividades en la actualidad. Una detenida familiarización con lo que hacen estos últimos es lo que debe plantearse más directamente desde el área de tecnología. Pero dado que, como hemos intentado mostrar, la ciencia no puede concebirse hoy desconectada de la tecnología, las propuestas de aprendizaje de las ciencias habrían de incorporar la dimensión tecnológica. Modificaremos entonces las propuestas de aprendizaje de las ciencias como investigación, con vistas a incorporar explícitamente esa dimensión tecnológica.

En síntesis, proponemos plantear el aprendizaje como un trabajo de «investigación y de innovación» (o, como suele expresarse, de «investigación y desarrollo») 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 que enumeraremos a continuación. Antes, sin embargo, queremos destacar que dicha enumeración no debe hacer pensar en un algoritmo que pretenda guiar paso a paso la actividad de los alumnos, sino que constituye una llamada de atención sobre aspectos esenciales en el trabajo científico y tecnológico que no son muy tenidos en cuenta en la enseñanza de las ciencias, como los siguientes:

- *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 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 a acotar dichas situaciones a la luz de los conocimientos disponibles, de los objetivos perseguidos... y a formular preguntas operativas sobre lo que se busca (oportunidad para que los estudiantes comiencen a explicitar «funcionalmente» sus concepciones).
- *La invención de conceptos y la emisión de hipótesis* fundamentadas, capaces 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 la atención sobre el interés de estos diseños y la 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 sólo 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 por la comunidad científica. Ello puede ser puente 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. Eso supone que los estudiantes se familiaricen con la lectura y con la confección de memorias científicas y trabajos de divulgación.
- *La consideración de las posibles perspectivas*: planteamiento de nuevos problemas, conexión de los conocimientos construidos con otros ya conocidos, elaboración y perfeccionamiento de los productos tecnológicos que se buscaban o que son concebidos como resultado de las investigaciones realizadas... 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 y Sociedad que enmarcan el desarrollo científico, con atención a las repercusiones de toda índole de los conocimientos científicos y tecnológicos y propiciando a este respecto la toma de decisiones.

Cabe insistir, además, en la necesidad de dirigir 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...), la «elaboración de productos» (susceptibles de romper con planteamientos excesivamente escolares y de reforzar el interés por la tarea) y la «concepción de nuevos problemas».

Es en el desarrollo de estos últimos aspectos donde la dimensión tecnológica puede adquirir mayor relieve, por lo que nos detendremos algo más en su consideración. Comenzaremos recordando que la elaboración de un producto tecnológico no puede presentarse como mera ilustración o aplicación de los conocimientos manejados, sino que

siempre es el resultado –y así debe presentarse– de un trabajo que ha de integrar toda una diversidad de conocimientos para resolver los problemas que se derivan del objetivo perseguido y de las condiciones específicas que impone la realidad (materiales disponibles, repercusiones medioambientales...), incluyendo una serie de valores (éticos, culturales, estéticos, políticos, económicos...) que plantean la cuestión de la necesaria evaluación y planificación social de las tecnologías: no basta que una tecnología funcione; es preciso analizar y evaluar sus posibles efectos y contemplar las consecuencias globales de su aplicación (Jonas, 1984; Garritz, 1996). Esto es lo característico del trabajo tecnológico: por elemental que sea el objeto que se plantea construir, será preciso resolver todo un conjunto de problemas técnicos y sociales hasta lograr el producto deseado.

Pensemos, por ejemplo, en la construcción de una cámara obscura para mostrar la propagación rectilínea de la luz de forma espectacular (mediante la inversión que se consigue de la imagen). El principio de su funcionamiento es realmente muy elemental (basta que la luz entre en un recinto oscuro a través de un pequeño orificio), pero la construcción real de una cámara obscura miniaturizada (del tamaño de una caja de cartón o de un bote de conserva) plantea toda una serie de problemas técnicos, asequibles para los estudiantes, que suponen un verdadero reto y exigen imaginación, tanteos... hasta lograr que el sistema funcione; ¿qué tamaño conviene dar al orificio? (no puede ser tan pequeño que apenas deje entrar luz, ni tan grande que la imagen resulte excesivamente borrosa), ¿cómo podremos ver desde fuera de la caja o del bote la inversión de las imágenes que se produce dentro?... Se trata de un trabajo que pierde todo interés si se plantea como una receta a seguir mecánicamente: los alumnos han de trabajar con los materiales, proponer y discutir posibles soluciones, ensayarlas... hasta conseguir que el instrumento funcione, atendiendo también, insistimos, a sus repercusiones de todo tipo... Ello produce, en general, mayor satisfacción que la que pueda generarles la sola comprensión teórica, y, al propio tiempo, afianza esa comprensión.

Pero la dimensión tecnológica no se agota en el diseño y realización de prototipos. Se puede y conviene llevar a los estudiantes a establecer la relación entre sus prototipos y los instrumentos reales. Esto puede conducir al estudio de objetos de la vida diaria; al manejo de enciclopedias, libros, revistas de divulgación y secciones especializadas de los periódicos; a visitas a industrias, centros de innovación, museos y exposiciones... En definitiva, puede ser una magnífica ocasión de contacto

con la educación científica no formal, destinada a jugar un papel creciente en la apreciación crítica de la ciencia y la tecnología por los ciudadanos, pero todavía insuficientemente aprovechada por la escuela.

Conviene también crear ocasiones para que los estudiantes conciban y lleven a la práctica el montaje de exposiciones, tanto de prototipos construidos por ellos mismos como de juegos científicos o pabellones divulgativos de realizaciones científicas y tecnológicas reales, contemplando sus repercusiones, la necesidad de su evaluación, etc. Estas exposiciones constituyen ocasiones privilegiadas para poner en juego y desarrollar capacidades organizativas propias de la dimensión tecnológica, y, a la vez, conectar con la educación no formal.

No podemos seguir extendiéndonos aquí en la ejemplificación de las potencialidades educativas de una orientación del aprendizaje como trabajo de investigación e innovación, que, en nuestra opinión, favorece una cierta inmersión en la cultura científico-tecnológica, y, por tanto, la alfabetización de los futuros ciudadanos y ciudadanas. Sólo añadiremos algo en lo que ya hemos venido insistiendo a lo largo de este trabajo: al desarrollar la dimensión tecnológica se acentúa poderosamente la vinculación del aprendizaje con el mundo real de los estudiantes (Hill, 1998; Cajas, 2001), favoreciendo su mayor interés por el estudio. Al propio tiempo, los educandos adquieren una apreciación más correcta no sólo de la naturaleza de la tecnología sino de la propia ciencia (Vázquez, *et al.*, 2001).

La potenciación de la dimensión tecnológica se convierte así en un requisito para una adecuada alfabetización científica; de ahí que debamos asociar ambas y plantear conjuntamente la alfabetización científica y tecnológica. En caso contrario, la dependencia mutua de los distintos aspectos hace que, si no se toman en consideración todos ellos y sólo se persiguen cambios parciales, no se logren transformaciones significativas (Anderson y Helms, 2001). Dicho más claramente, cabe suponer que las dificultades encontradas por la educación científica –y muy en particular la falta de interés de muchos estudiantes– sean debidas a reduccionismos que la empobrecen, como el olvido de la dimensión tecnológica que aquí nos ocupa.

5. CONSIDERACIONES FINALES

Ya nos hemos referido al hecho bien conocido de que los desarrollos científicos y tecnológicos no dependen sólo de los conocimientos científicos y de la experiencia técnica acumulada. Están también muy condicionados por factores sociales, económicos, culturales, éticos y políticos, y se llevan a cabo dentro de un marco institucional que los determina de forma decisiva, al tiempo que sus resultados contribuyen en gran medida a configurar el modo en que se desenvuelven las demás actividades sociales.

La integración de la tecnología en la educación científica básica de todas las personas puede contribuir, sin duda, a la mejor comprensión de su dimensión social y humana característica de la cultura de nuestro tiempo, ayudando a superar la visión tradicional de las dos culturas, la humanística y la científico-tecnológica. Una visión socialmente aceptada y a la que la escuela ha venido contribuyendo, entre otras razones por la orientación puramente operativa que se suele dar a la enseñanza de las ciencias. La inclusión de la tecnología en la educación científica constituye un paso más, imprescindible, hacia la conformación de unas nuevas humanidades que incorporen saberes científicos y tecnológicos como parte sustancial de la cultura.

149

Aunque la idea de enriquecer la enseñanza de las ciencias con la incorporación de la dimensión tecnológica nos parece especialmente fructífera para favorecer un aprendizaje susceptible de interesar a los estudiantes, no estamos suponiendo que hayamos encontrado «la receta mágica». Somos conscientes de que los mismos obstáculos que se han señalado hasta aquí como dificultades para el pleno desarrollo de las propuestas de alfabetización científica (Gil y Vilches, 2001) siguen estando presentes: desde nuestras propias concepciones espontáneas acerca de la ciencia y la tecnología, a las expectativas sociales (y docentes) sobre lo que la generalidad de los estudiantes puede hacer o no. Si se quiere ir más allá de la formulación de propuestas teóricas, evidentemente útiles y necesarias pero insuficientes para lograr su desarrollo efectivo en las aulas, se precisa la adopción de profundos cambios en la formación inicial y permanente del profesorado (Cañal, 2000; Mellado, 2000) y en las mismas condiciones de trabajo de los docentes, para facilitar su implicación en una actividad permanente de investigación e innovación educativas (Maiztegui, *et al.*, 2000).

Pero, aun siendo conscientes de estas dificultades y de que no existen soluciones milagrosas, no ignoramos tampoco los avances que se están produciendo en el logro de una alfabetización científica y tecnológica como parte de la educación básica de todos los ciudadanos y ciudadanas (Cajas, 2001). Algo que debemos enmarcar en el proyecto UNESCO de una educación para todos a lo largo de toda la vida (DeLors, *et al.*, 1996), sin duda muy ambicioso y exigente, pero absolutamente necesario si queremos que conceptos como Derechos Humanos o Sostenibilidad sean algo más que eslóganes vacíos.

BIBLIOGRAFÍA

ACEVEDO, J. A. (1998): Análisis de algunos criterios para diferenciar entre ciencia y tecnología. *Enseñanza de las Ciencias*, 16(3), pp. 409-420.

— (1997): «¿Publicar o patentar? Hacia una ciencia cada vez más ligada a la tecnología», en: *Revista Española de Física*, 11(2), pp. 8-11. Versión electrónica actualizada en: *Sala de Lectura CTS+I de la OEI* <<http://www.campus-oei.org/salactsi/acevedo4.htm>>, 2001.

— (1996): «La tecnología en las relaciones CTS. Una aproximación al tema», en: *Enseñanza de las Ciencias*, 14(1), pp. 35-44.

— (1995): «Educación tecnológica desde una perspectiva CTS. Una breve revisión del tema». *Alambique*, 3, pp. 75-84. Versión electrónica actualizada en *Sala de Lectura CTS+I de la OEI* <<http://www.campus-oei.org/salactsi/acevedo5.htm>>, 2001.

AIKENHEAD, G. S. (1985): «Collective decision making in the social context of science», en: *Science Education*, 69(4), pp. 453-475.

ANDERSON, R. D., y HELMS, J. V. (2001): «The ideal of standards and the reality of schools: needed research», en: *Journal of Research in Science Teaching*, 38(1), pp. 3-16.

BOER, G. B. DE (2000): «Scientific literacy: another look at its historical and contemporary meanings and its relationship to science education reform», en: *Journal of Research in Science Teaching*, 37(6), pp. 582-601.

BUNGE, M. (1997): *Ciencia, técnica y desarrollo*. Buenos Aires, Juárez Ed.

— (1976): *La investigación científica*. Barcelona, Ariel.

— (1985): *Epistemología*. Barcelona, Ariel.

BYBEE, R. (1997): «Towards an understanding of scientific literacy», en W. Gräber, y C. Bolte (eds.): *Scientific Literacy*. Kiel, IPN.

— (2000): «Achieving technological literacy: a national imperative», en: *The Technology Teacher*, septiembre 2000, pp. 23-28.

BYBEE, R., y BOER, G. B. DE (1994): «Research on goals for the science curriculum», en D. L. Gabel: *Handbook of research on science teaching and learning*. Nueva York, MacMillan P. C.

BYBEE, R., y LOUCKS-HORSLEY, S. (2000): «Advancing technology education: the role of professional development», en: *The Technology Teacher*, octubre 2000, pp. 31-34.

CAAMAÑO, A. (coord.) (1995): «La educación Ciencia-Tecnología-Sociedad», monográfico, en: *Alambique*, 3.

CAJAS, F. (2001): «Alfabetización científica y tecnológica: la transposición didáctica del conocimiento tecnológico», en: *Enseñanza de las Ciencias*, 19(2), pp. 243-254.

— (2000): «Research in technology education: what are we researching? A response to Theodore Lewis», en: *Journal of Technology Education*, 11(2), pp. 61-69.

— (1999): «Public understanding of science: using technology to enhance school science in everyday life», en: *International Journal of Science Education*, 21(7), pp. 765-773.

CARVALHO, A. M., y VANNUCCHI, A. I. (1998): «History, Philosophy and Science Teaching: some answers to 'how?'», en: *Science & Education*, 9, pp. 427-448.

COLUB, M., y KOLEN, C. (1976): *Evaluation of Piagetan Kindergarten Program*. Artículo presentado en el sexto Simposio Anual de la Jean Piaget Society. Philadelphia, junio de 1976.

CROSS, R. T. (1999): «The public understanding of science: implications for education», en: *International Journal of Science Education*, 21(7), pp. 699-702.

DECLARACIÓN DE BUDAPEST (1999): *Marco general de acción de la declaración de Budapest* <<http://www.oei.org.co/cts/budapest.dec.htm>>.

DELORS, J., et al. (1996): *La educación encierra un tesoro*. Madrid, Santillana.

DEWEY, J. (1945): «Methods in science teaching», en: *Science Education*, 29, pp. 119-123.

FLEMING, R. W. (1989): «Literacy for a technological age», en: *Science Education*, 73(4), pp. 391-404.

FOUREZ, G. M.; ENGLEBERT-LECOMTE, V.; GROOTAERS, D.; MATHY, P., y TILMAN, F. (1994): *Alphabétisation scientifique et technique*. Bruselas, de Boeck Université. Traducción castellana (1997): *Alfabetización científica y tecnológica*. Buenos Aires, Ed. Colihue.

FRASER, B., y TOBIN, K. G. (eds.) (1998): *International handbook of science education*. Londres, Kluber Academic Publishers.

FREINET, C. (1971): *La educación por el trabajo*. México, Fondo de Cultura Económica.

GABEL, D. L. (ed.) (1994): *Handbook of research on science teaching and learning*. Nueva York, MacMillan P.C.

GARDNER, P. L. (1999): «The representation of science-technology relationships in canadian physics textbooks», en: *International Journal of Science Education*, 21(3), pp. 329-347.

— (1997): «The roots of technology and science: a philosophical and historical view», en: *International Journal of Technology and Design Education*, 7, pp. 13-20.

— (1994): «Representations of the relationship between science and technology in the curriculum», en: *Studies in Science Education*, 24, pp. 1-28.

GARRITZ, A. (1996): *De educación, filosofía y tecnología*. México, Academia Mexicana de Ingeniería.

GIL, D.; CARRASCOSA, J.; DUMAS-CARRÉ, A.; FURIÓ, C.; GALLEGO, R.; GENÉ, A.; GONZÁLEZ, E.; GUIASOLA, J.; MARTÍNEZ TORREGROSA, J.; PESSOA DE CARVALHO, A. M.; SALINAS, J.; TRICÁRICO, H., y VALDÉS, P. (1999): «¿Puede hablarse de consenso constructivista en la educación científica?», en: *Enseñanza de las Ciencias*, 17(3), pp. 503-512.

GIL, D., y VILCHES, A. (2001): «Una alfabetización científica para el siglo XXI», en: *Investigación en la Escuela*, 43, pp. 27-37.

GILBERT, J. K. (1995): «Educación tecnológica: una nueva asignatura en todo el mundo», en: *Enseñanza de las Ciencias*, 13(1), pp. 15-24.

— (1992): «The interface between science education and technology education», en: *International Journal of Science Education*. 14(5), pp. 563-578.

GINESTIÉ J. (1997): «Technology education in France», en D. Blandow, y W.E. Theuerkauf: *Strategien und paradigmwechsel zur technischen bildung*. Hildesheim, Franzbecker editor, pp. 75-85.

GONZÁLEZ, M.; LÓPEZ CEREZO, J. A., y LUJÁN, J. L. (1996): *Ciencia, tecnología y sociedad: una introducción al estudio social de la ciencia y la tecnología*. Madrid, Tecnos.

HACKING, I. (1983): *Representing and intervening*. Cambridge, 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, Cambridge University Press. Traducción de E. García Camarero (1977): *Patrones de descubrimiento. Investigación de las bases conceptuales de la ciencia*. Madrid, Alianza.

HILL, A. (1998): «Problem solving in real-life contexts: an alternative for design in technology education», en: *International Journal of Technology and Design Education*, 8, pp. 203-220.

INTERNATIONAL TECHNOLOGY EDUCATION ASSOCIATION (2000): *Standards for technological literacy: content for the study of technology*. Reston, VA, ITEA.

JONAS, K. (1984): *The imperative of responsibility: in search of an ethics for the technological age*. Chicago, University of Chicago Press.

KAMII, C., y VRIES, R. DE (1978): *Physical knowledge in pre-school education. Implications of Piaget's theory*. Prentice-Hall International. Versión española con el título *El conocimiento físico en la educación preescolar*. Madrid, Siglo XXI (1983).

LAUGKSCH, R. G. (2000): «Scientific literacy: a conceptual overview», en: *Science Education*, 84(1), pp. 71-94.

LAYTON, D. (1988): «Revaluating the T in STS», en: *International Journal of Science Education*, 10(4), pp. 367-378.

LEWIS, T. (1991): «Introducing technology into school curricula», en: *Journal of Curriculum Studies*, 23(2), pp. 141-154.

LINN, M. C. (1987): «Establishing a research base for science education: challenges, trends and recommendations», en: *Journal of Research in Science Teaching*, 24(3), pp. 191-216.

LÓPEZ CUBINO, R. (2001): *El área de Tecnología en secundaria*. Madrid, Narcea.

LUJÁN, J. L. (1989): «Tecnología, ciencia y sociedad: proceso a la epistemología popular», en: *Anthropos*, 94/95, pp. 81-86.

MARCO, B. (2000): «La alfabetización científica», en F. Perales, y P. Cañal (dir.): *Didáctica de las ciencias experimentales*, pp. 141-164. Alcoi, Marfil.

MARTINAND, J. L. (1986): *Connaître et transformer la matière*. Berna, Peter Lang.

MARTINS, I. P. (coord.) (2000): *O movimento CTS na Península Ibérica*. Aveiro: Universidade de Aveiro.

MAIZTEGUI, A.; GONZÁLEZ, E.; TRICÁRICO, H.; SALINAS, J.; PESSOA DE CARVALHO, A, y GIL, D. (2000): «La formación de los profesores de ciencias en Iberoamérica», en: *Revista Iberoamericana de Educación*, 24, pp. 163-187.

MEDINA, M. (1989): «Mito de la teoría y filosofía de la tecnología», en: *Anthropos*, 94/95, pp. 35-39.

— (1988): «Extravíos racionales», en: *Anthropos*, 82/83, pp. 62-69.

MEDWAY, P. (1989): «Issues in the theory and practice of technology education», en: *Studies in Science Education*, 16, pp. 1-24.

MEMBIELA, P. (coor.) (2001): *La enseñanza de las ciencias desde la perspectiva ciencia-tecnología-sociedad. Una aproximación a la formación científica para la ciudadanía*. Madrid, Narcea (en prensa).

— (1997): «Alfabetización científica y ciencia para todos en la educación obligatoria», en: *Alambique*, 13, pp. 37-44.

MITCHAM, C. (1989): *¿Qué es la filosofía de la tecnología?* Barcelona, Anthropos-Servicio Editorial del País Vasco.

MORENO, A. (2000): «La historia de la ciencia: ¿saber útil o curioso complemento?», en: *Alambique*, 24, pp. 99-112.

MORENO, A. (1988): *Aproximación a la física. Una historia de visionarios, rebeldes y creadores*. Madrid, Mondadori.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL (1996): *National Science Education Standards*. Washington, D.C., National Academy Press.

NIINILUOTO, I. (1997): «Ciencia frente a Tecnología: ¿diferencia o identidad?», en: *Arbor*, 620, pp. 285-299.

PERALES, J., y CAÑAL, P. (eds). (2000): *Didáctica de las ciencias: teoría y práctica de la enseñanza de las ciencias*. Alcoi, Marfil.

PRICE, R. F., y CROSS, R. T. (1995): «Conceptions of science and technology clarified: improving the teaching of science», en: *International Journal of Science Education*, 17(3), pp. 285-293.

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», en: *Revista Iberoamericana de Educación*, 18, pp. 107-143.

SANMARTÍN, J. (1990): *Tecnología y futuro humano*. Barcelona, Anthropos.

SCHAUBLE, L.; KLOPPER, L. E., y RAGHAVAN, K. (1991): «Students transition from an engineering model to a science model of experimentation», en: *Journal of Research in Science Teaching*, 28(8), pp. 859-882.

SCHOOLS COUNCILS (1971): *Support for scholl science and technology*. Londres, Evans/Methuen Educational.

SOLBES, J., y VILCHES, A. (1998): «Las interacciones CTS en los nuevos textos de secundaria», en E. Banet y A. de Pro (coord.): *Investigación e innovación en la enseñanza de las ciencias*, vol. 1, pp. 142-147. Murcia, D.M.

— (1997): «STS interactions and the teaching of Physics and Chemistry», en: *Science Education*, 81(4), pp. 377-386.

SOLOMON, J. (1995): «El estudio de la tecnología en la educación», en: *Alambique* 3, pp. 13-18.

SOLOMON, J., y AIKENHEAD, G. (eds.) (1994): *STS Education: international perspectives on reform*. Nueva York, Teachers College Press.

STAUDENMAIER, J. M. (1985): *Technology's storytellers: reweaving the human fabric*. Cambridge, MA, MIT Press.

TAMIR, P. (1998): «Assessment and evaluation in science education: opportunities to learn and outcomes», en B. J. Fraser y K. G. Tobin (eds.): *International handbook of science education*. Londres, Kluber Academic Publishers.

UNESCO (1983): *Technology education as part of general education*. Science and Technology Education Document. Series, 4. París: UNESCO.

VALDÉS, R., y VALDÉS, P. (1994): «Utilización de los ordenadores en la enseñanza de las Ciencias», en: *Enseñanza de las Ciencias*, 12(3), pp. 412-415.

VÁZQUEZ, A.; ACEVEDO, J. A.; MANASSERO, M. A., y ACEVEDO, P. (2001): «Cuatro paradigmas básicos sobre la naturaleza de la ciencia», en: *Argumentos de Razón Técnica*, 4 (en prensa).

VRIES, M. DE (1996): «Technology Education: beyond the “technology is applied science” paradigm (guest article)», en: *Journal of Technology Education*, 8(1), pp. 7-15.

VRIES, M. DE y TAMIR, A. (1997): «Preface», en: *International Journal of Technology and Design Education*, 7, pp. 1-2.

WULF, W. A. (2000): «The standards for technological literacy. A national academies perspective», en: *The Technology Teacher*, marzo 2000, pp. 10-12.