

Creencias sobre la tecnología y sus relaciones con la ciencia

José Antonio Acevedo Díaz¹, Ángel Vázquez Alonso², M^a Antonia Manassero Mas³ y Pilar Acevedo Romero⁴

¹Inspección de Educación, Consejería de Educación de la Junta de Andalucía, Delegación Provincial de Huelva, España. E-mail: ja_acevedo@vodafone.es.

²Facultad de Ciencias de la Educación, Universidad de las Islas Baleares, España. E-mail: avazquez@dgform.caib.es.

³Departamento de Psicología, Universidad de las Islas Baleares, España. E-mail: ma.manassero@uib.es. ⁴Departamento de Química Analítica, Universidad de Sevilla, España. E-mail: pi_acevedo@yahoo.es.

Resumen: Dentro del marco que promueve el movimiento educativo CTS para la alfabetización científica y tecnológica de todas las personas, se parte de la necesidad de contextualizar la enseñanza de las ciencias afrontando la tecnología. En el artículo se plantea el problema que supone para ello los diversos significados de la tecnología y sus conexiones con la ciencia, analizándose brevemente cinco modelos de estas relaciones, algunas formas de aproximarse a la noción de tecnología y los principales rasgos del conocimiento tecnológico. A continuación se revisan las creencias sobre la tecnología y sus relaciones con la ciencia del profesorado y el alumnado, comparándose los resultados de las evaluaciones realizadas en nuestro contexto educativo con otros que aparecen reflejados en la bibliografía internacional. Se concluye señalando los puntos más débiles mostrados por el profesorado sobre los temas planteados y algunas implicaciones para la enseñanza de las ciencias que se proclama.

Palabras clave: tecnología, relaciones entre ciencia y tecnología, enseñanza de las ciencias, creencias CTS, evaluación.

Title: Beliefs about technology and its relationships with science.

Abstract: The science-technology-society (STS) educational framework promotes the scientific and technological literacy for all, contextualizing science education taking into account the technology. This paper addresses the problem of the diverse meanings of the technology and its complex connections with science, through the analysis of five models about these relationships, of some forms of approaching the technology concept and the main features of the technological knowledge. The science teachers' and pupil's beliefs on the technology and their relationships with science are revised, through comparison between the spanish educational context and others displayed in the international literature. The paper concludes by pointing out the weakest points shown from the teachers' beliefs on the topics, as well as some implications for improving science teaching.

Keywords: technology, relationships between science and technology, science teaching, evaluation of STS beliefs.

Introducción

CTS es el acrónimo de un lema que caracteriza a un amplio movimiento mundial con influencia en la enseñanza de las ciencias contemporánea desde hace más de dos décadas, el cual pretende la finalidad de contribuir a mejorar la alfabetización científica y tecnológica de todas las personas; más en concreto, tiene el propósito de propiciar la participación democrática de la ciudadanía en la evaluación y toma de decisiones respecto a asuntos científicos y tecnológicos de interés social (Acevedo, Vázquez y Manassero, 2003; Martín-Gordillo, 2003 en este mismo número monográfico). Sus tres componentes son la ciencia, la tecnología y la sociedad, por lo que los esfuerzos por aclarar los conceptos de cualquiera de estos tres elementos no son, en absoluto, un ejercicio banal de academicismo. La utilización de estos vocablos en el lenguaje habitual puede hacernos creer que sabemos lo que significan, porque podemos hablar de ellos y hacernos entender en una conversación que no sea muy profunda. No obstante, el análisis conceptual de tales términos, tratando de definirlos con la mayor precisión posible, permite que afloren problemas, matices y limitaciones que permanecen implícitos en su uso más corriente, incluso aunque las definiciones que se propongan puedan ser mejorables con posterioridad. Así pues, el examen y la discusión de las creencias sobre el significado de estos conceptos puede contribuir a hacer explícitas algunas de las dificultades y obstáculos que van a presentarse en la práctica para asumir de verdad las finalidades educativas más importantes que propugna el movimiento CTS para la enseñanza de las ciencias (Acevedo, Manassero y Vázquez, 2002; Acevedo, Vázquez y Manassero, 2003).

Las personas viven hoy en día más en el marco de una cultura tecnológica que en el de una cultura científica (Acevedo, 1997a). También es un hecho que empresarios, políticos y ciudadanos, en general, tienden a dar valor a la ciencia sobre todo por su capacidad para resolver problemas y su utilidad social; esto es, dan más relevancia a su faz instrumental y tecnológica. Al mismo tiempo, en esta época, los criterios típicos de la racionalidad tecnológica (pragmatismo, utilidad, etc.) están desplazando a otros más propios de la racionalidad científica (verosimilitud, explicación, etc.). Por lo tanto, es muy importante prestar atención a las creencias sobre la noción de tecnología y sus relaciones con la ciencia (Herschbach, 1995), lo que se hará en este artículo.

Pese a todo, no debe olvidarse que la presencia de la educación tecnológica en la enseñanza de las ciencias ha sido generalmente marginada por quienes planifican y diseñan los currículos de ciencias, los autores y editores de libros de texto y el profesorado, tanto en España como en la mayoría de los demás países del mundo (Maiztegui *et al.*, 2002). Sin duda, un factor que subyace en esta falta de atención es la menor estima que suele tener en los ambientes académicos el conocimiento práctico frente al teórico (Acevedo, 1996; Cajas, 1999; De Vries, 1996; Gardner, 1999; González-García, López-Cerezo y Luján, 1996; Maiztegui *et al.*, 2002); un hecho que, en general, se viene repitiendo al menos desde la Grecia Clásica. Antes de continuar, hay que advertir que cuando aquí se hace referencia a la educación tecnológica no se está hablando simplemente de la utilización de tecnología en la educación científica (por ejemplo, últimamente se está prestando más atención en la enseñanza de las

ciencias al empleo de ordenadores y sus amplias posibilidades de uso en red, como Internet), lo cual es un aspecto interesante pero muy limitado del tema que se plantea, porque introducir la educación tecnológica en la enseñanza de las ciencias no es lo mismo que usar tecnología en la educación científica y va mucho más allá de esta opción.

La enseñanza integrada de la ciencia con la tecnología ha sido defendida desde hace años (por ejemplo, fue propugnada por la *Division of Science, Technical and Environmental Education* de la UNESCO). No obstante, la polémica sobre cuáles son las ventajas e inconvenientes de esta opción permanece abierta todavía (Hallak y Poisson, 2000; Sjøberg, 2002), habiéndose aprovechado también algunos de los problemas y dificultades que origina la integración para reclamar un papel más específico de la educación tecnológica (Gilbert, 1995; De Vries, 1996). Sin entrar ahora en el debate sobre las materias básicas que deben componer el currículo obligatorio (véanse, por ejemplo, unas interesantes reflexiones sobre el papel curricular de la educación tecnológica en un trabajo reciente de Martín-Gordillo y González-Galbarte, 2002), hay que subrayar que existen suficientes razones para incluir la dimensión tecnológica en la educación científica, las cuales alcanzan su pleno significado en el marco teórico del movimiento CTS para la enseñanza de las ciencias (Acevedo, Manassero y Vázquez, 2002; Acevedo, Vázquez y Manassero, 2003). Entre los diversos motivos los hay didácticos (por ejemplo, favorecer un aprendizaje más significativo, facilitar la conexión con la vida cotidiana, contextualizar la ciencia con las relaciones CTS, interesar a los estudiantes, etc.), epistemológicos (mejorar la comprensión de la naturaleza de la ciencia y la tecnociencia contemporáneas) y, por supuesto, sociales (capacitar a los ciudadanos para su participación democrática en la sociedad civil a la hora de tomar decisiones con fundamento sobre cuestiones tecnocientíficas de interés social); razones que son aplicables a una educación científica destinada a todas las personas, vayan a ser o no profesionales de la ciencia o la ingeniería en el futuro. En tal caso, es absolutamente necesario prestar más atención al papel de la educación tecnológica en la enseñanza de las ciencias, incorporando en ésta actividades que permitan aprender ciencias abordando problemas tecnológicos (Maiztegui *et al.*, 2002), entendidos éstos en su sentido más amplio.

Modelos sobre las relaciones entre ciencia y tecnología

Niiniluoto (1997) ha analizado con detalle la naturaleza de la tecnología, proponiendo cinco modelos sobre sus relaciones con la ciencia (véase también en este mismo número monográfico el artículo de Martins, 2003):

- La tecnología se subordina a la ciencia y puede reducirse a ella; depende, pues, ontológicamente de la ciencia.
- La ciencia se subordina a la tecnología y puede reducirse a ella; es decir, depende ontológicamente de la tecnología.
- Ciencia y tecnología son más o menos lo mismo. Esta posición conduce al concepto de tecnociencia introducido por Latour (1987, p. 29 de la traducción castellana).

- La ciencia y la tecnología son ontológicamente independientes; también lo son desde un punto de vista causal.
- La ciencia y la tecnología interaccionan causalmente, pero son ontológicamente independientes.

La primera posición se deriva de una concepción filosófica positivista y analítica que considera a la tecnología como ciencia aplicada; una tesis a la que algunos filósofos como Bunge (1966, 1969) contribuyeron, a mediados de los años sesenta, para dar los fundamentos de un paradigma de la filosofía de la tecnología que suele tener buena acogida entre los científicos (De Vries, 1996; Osorio, 2002; Quintanilla, 1998; Staudenmaier, 1985) y se ha transmitido al público por famosos divulgadores de la ciencia como Isaac Asimov y Carl Sagan (González-García, López-Cerezo y Luján, 1996). Afirmar que la tecnología no es más que la simple aplicación de la ciencia equivale también a proclamar que el desarrollo tecnológico depende jerárquicamente de la investigación científica; esto es, que el conocimiento práctico se subordina al teórico (Sanmartín, 1990a). Esta forma de entender la tecnología subyace en el modelo lineal de investigación y desarrollo (I+D) que ha dominado las políticas públicas de ciencia y tecnología durante la mayor parte del siglo XX (García-Palacios *et al.*, 2001). Sin duda, las relaciones entre ciencia y tecnología van más allá de las que se derivan de la estrecha visión de la tecnología como ciencia aplicada (Fleming, 1989; Kline, 1985; Layton, 1988), pudiendo recurrirse a la historia para comprobarlo, incluso la más reciente. Como ejemplo, se ha mostrado que más del 90% de la investigación sobre los sistemas de armamento realizada en los EE.UU. durante 1966 no es representativa de un desarrollo tecnológico basado en la ciencia (Staudenmaier, 1985). La imagen de la ciencia como un sistema para producir conocimiento y de la tecnología como el medio más adecuado para su aplicación no sirve para comprender las conexiones sistémicas vigentes, ni tampoco las de antaño.

El segundo punto de vista, opuesto al primero, se apoya en el hecho de que la tecnología (quizás sería mejor decir aquí la técnica) es anterior a la ciencia, pero va mucho más allá de esto (Gardner, 1997), habiéndose llegado a considerar la ciencia como una dimensión más de los sistemas socio-técnicos complejos (López-Devesa, 2001). Esta propuesta, en la que las teorías científicas se contemplan como instrumentos conceptuales sofisticados de la práctica humana, ha sido sostenida por Ihde (1983) y guarda mucha relación con el punto de vista materialista de la tecnología propio de la dialéctica del pensamiento marxista, el cual afirma que la ciencia no es más que una forma intensificada de tecnología (Ihde, 1979); de otra forma, se asocia a las denominadas filosofías de la praxis (por ejemplo, marxismo, pragmatismo, etc.), donde se sostiene que la ciencia se mueve por intereses tecnológicos y se supedita a la razón técnica (Acevedo, 1997b). En una línea similar, Sanmartín (1987, 1990b) ha desarrollado un modelo de corte materialista muy elaborado, el cual pretende mostrar cómo influye la tecnología en la interpretación del mundo natural a través de la ciencia. Para ello, este autor distingue tres tipos de teorías científicas:

- Las que tratan de dilucidar las causas del éxito o el fracaso de determinadas técnicas precientíficas o tradiciones operativas. Esta clase de teorías, que se encuentran en la base del edificio científico, permite sustituir

una técnica preteórica por una técnica teorizada, o bien una técnica teorizada por otra más elaborada.

- Otras que nacen de la reflexión sobre ciertas tecnologías y tratan de explicar por analogía cuestiones pertenecientes a otros ámbitos de conocimiento; este proceso provoca cambios en el significado de los conceptos clave de una teoría científica al extenderlos más allá del contexto para el que fueron construidos. Así, estas teorías contribuyen al aumento de generalidad y a la unificación teórica.

- Paradigmas con enunciados de gran generalidad, elaborados como programas metafísicos de investigación para configurar una cosmovisión dominante durante un amplio período de tiempo. El contenido de un paradigma viene suministrado por teorías de los otros tipos, que así quedan incluidas en él.

La perspectiva que identifica ciencia y tecnología ha adquirido gran peso en la contemporaneidad. Como advierte Niiniluoto (1997), el uso del concepto postmoderno de tecnociencia, sugerido por muchos autores para describir la creciente imbricación entre ciencia y tecnología, pretende difuminar ambas nociones para construir un elemento esencial de una nueva ideología acerca del objeto y la metodología de los estudios sociales sobre ciencia, tecnología y sociedad. No obstante, aunque la tecnociencia asociada a la gran ciencia (*big science*) y la alta tecnología (*high technology*) ha ido aumentando durante el siglo XX, sobre todo desde el conocido proyecto Manhattan desarrollado para fabricar la bomba atómica durante la Segunda Guerra Mundial, y se prevé que crezca más durante el XXI, la ciencia que no sigue ese patrón aún se sigue practicando en buena medida y lo mismo puede decirse de la tecnología (Echeverría, 1999). Cabe decir también que desde la didáctica de las ciencias se ha criticado a veces la identificación superficial entre ciencia y tecnología, que asoma permanentemente cuando se analizan las implicaciones sociales de ambas pero se relegan los procesos que conducen al desarrollo científico y tecnológico (Valdés *et al.*, 2002).

En esta época es difícil apoyar a la vez la independencia ontológica y causal entre la ciencia y la tecnología, por lo que no es fácil encontrar ahora muchos partidarios de esta tesis. Con matices, fue defendida hace años por Price (1965, 1972), el cual afirmó que la interacción entre ambas es más débil de la que suele darse entre las nuevas y viejas tecnologías. Basalla (1988) también sostiene que, en lo fundamental, la mayoría de las novedades tecnológicas derivan evolutivamente de inventos anteriores, a pesar de que la conexión entre la ciencia y la tecnología contemporáneas pueda ser bastante completa en muchos casos. Para defender este modelo suele recurrirse a casos históricos como la revolución industrial que se produjo en Inglaterra entre los siglos XVIII y XIX, el rápido desarrollo industrial de los EE.UU. durante el XIX y el de Japón en el XX, que no fueron precedidos por ningún incremento notable en la investigación científica en los campos afectados. Sin embargo, también pueden mostrarse otros ejemplos de signo contrario, como el de Alemania en el XIX y los EE.UU. en el XX, donde la relación entre ciencia y tecnología ha sido mucho más intensa.

La interacción causal entre la ciencia y la tecnología, defendida en la última de las tesis, ha ido aumentando desde el siglo XIX, pero predomina la tendencia a mostrarlo con un sesgo exagerado a favor del sentido que va desde la ciencia a la tecnología en detrimento del opuesto, lo que no es admisible (Valdés *et al.*, 2002). Conviene recordar al respecto que la observación y la experimentación científicas están cargadas de una competente práctica previa, que está fuertemente condicionada por la tecnología (Hacking, 1983; Ihde, 1997). Tampoco debe olvidarse que la ciencia no sólo tiene por finalidad construir representaciones del mundo para explicarlo y hacer predicciones, sino que igualmente pretende intervenir en él para transformarlo; en nuestros días esto es tan evidente que la mayor parte de la ciencia que se hace en todas partes responde a prioridades tecnológicas civiles y militares (Acevedo, 1997b). Aún así, pese a las crecientes conexiones entre ambas, se considera que la ciencia y la tecnología son ontológicamente independientes (Niiniluoto, 1997).

Como se ha anotado en otro lugar (Acevedo, 1997b), una mirada al pasado permite comprobar que la ciencia se ha relacionado siempre en mayor o menor medida con el estado, el ejército, los empresarios y el comercio (Stewart, 1992). Desde muy pronto, en los siglos XVII y XVIII, la ciencia moderna tuvo también el sentido de lo útil y gran interés por los asuntos tecnológicos; son bien conocidas las implicaciones sociales, industriales y comerciales de afamados científicos de la época como Boyle, Newton y Hooke, entre otros muchos, en la ciudad de Londres (Stewart, 1997). Sin duda, hay casos en todas las épocas. En el siglo XIX, físicos teóricos como Maxwell y Kelvin también aparecen ligados a la tecnología y a la ciencia industrial; por ejemplo, en relación con el cableado de la telegrafía transatlántica (Pestre, 2000; Smith y Wise, 1989). Ya en el XX, la insigne Marie Curie contribuyó decisivamente a poner en marcha los procesos industriales para fabricar y purificar muchas sustancias radiactivas, así como la instrumentación necesaria para ello; además, bajo su dirección, el Instituto del Radio representó un decisivo papel en el desarrollo metrológico de la radiactividad para usos industriales y médicos, constituyéndose un servicio de medidas y control de los instrumentos que hizo del laboratorio de Curie el centro nacional de medidas oficioso que aún no existía en Francia (Boudia, 1997).

Las muestras anteriores no significan que desde la aparición de la ciencia moderna, la tecnología haya sido una consecuencia de ésta; nada más lejos de tal afirmación. Así, durante el siglo XIX, algunos oficios antiguos generaron ciencias basadas en la técnica; por ejemplo, la termodinámica le debe mucho a la reflexión teórica sobre las máquinas de vapor que habían desarrollado técnicos ingleses del XVIII y la química orgánica industrial se potenció en parte por los intereses de los fabricantes de tintes. De modo similar, en el siglo XX, muchos conocimientos metalúrgicos se incorporaron a la ciencia de los materiales, pudiendo encontrarse más ejemplos parecidos en la agricultura y la medicina. Pero también hay innovaciones tecnológicas basadas en la ciencia; son paradigmáticos el de la industria eléctrica, a finales del XIX, el de la ingeniería nuclear con fines militares y civiles para la producción de energía eléctrica, en el XX, y las aplicaciones industriales y médicas de la biología molecular y la genética (biotecnologías) que están en pleno desarrollo con grandes expectativas en este siglo XXI (Ziman, 1984).

Estos ejemplos, y otros muchos que podrían ponerse, no tienen que ser del todo perfectos; con frecuencia se dan situaciones intermedias en las que la tecnología ha ejercido mayor o menor influencia en la evolución de una ciencia y viceversa. Así mismo, hay casos en los que la ciencia y la tecnología se han desarrollado de forma concertada y otros en los que se han comportado de manera bastante independiente. Dicho de otra forma, los productos tecnológicos pueden haber seguido diversos procedimientos en su diseño y desarrollo, desde aquellos que no precisan tener demasiado en cuenta las teorías científicas más avanzadas hasta los que dependen en gran medida de éstas, pasando por los que combinan ambas vías (Basalla, 1988; De Vries, 1996).

Durante el siglo XX la práctica tecnológica se ha hecho mucho más científica, no sólo por el conocimiento que le ha proporcionado la ciencia sino, sobre todo, por haber incorporado una metodología más sistemática de un modo cada vez más consciente y extendido. Por su parte, la ciencia se ha ligado cada vez más a los intereses tecnológicos, hasta el punto de que ha ido desplazando su modo de hacer y su organización desde los propios de la ciencia académica hasta los más típicos de la ciencia que se realiza en los laboratorios industriales y gubernamentales (civiles y militares); esto es, también la práctica científica se ha hecho más tecnológica. Como ha hecho notar Ziman (1984), actualmente todas las tecnologías tienden a generar sus propias ciencias; al mismo tiempo, es difícil encontrar algún campo de conocimiento científico que no sea escrutado para determinar sus potenciales beneficios comerciales, por lo que todas las ciencias que aún no lo han hecho se encuentran en vía de dar lugar a sus respectivas tecnologías. Se ha hecho posible, así, gran parte del sueño baconiano, que estaba en el origen de la ciencia moderna.

En consecuencia, aunque algunos de los modelos mostrados puedan satisfacer más que otros, quizás la conclusión más prudente sea decir que ninguno es capaz de dar cuenta por sí mismo de las múltiples y complejas conexiones entre la ciencia y la tecnología contemporáneas. Aún menos parece que sea posible establecer alguno que sirva para explicarlas adecuadamente en cualquier época, porque las relaciones no han sido siempre las mismas a lo largo de la historia (Gardner, 1997; Gilbert, 1992), habiendo cambiado también a través de los tiempos el ejercicio y la organización de las prácticas científica y tecnológica. No es posible, pues, encontrar una relación causal directa y simple entre ciencia y tecnología. Tal y como afirma Richards (1983), aunque los canales de comunicación no sean del todo perfectos en su modo de operar, hoy en día suele darse un flujo de información en ambos sentidos entre la ciencia y la tecnología a través del continuo I+D (o al revés, D+I, como cada vez sucede más desde finales del siglo XX).

Aproximaciones a la noción de tecnología

Como se ha apuntado más arriba, a pesar de la enorme vigencia actual de la tecnología su *status* cultural y académico continúa siendo inferior al de la ciencia (Gilbert, 1992; Layton, 1988). Además, salvo honrosas excepciones, habitualmente la técnica ha sido marginada por la filosofía en beneficio de la ciencia. Medina (1989) atribuye este desinterés al dogma

cultural que privilegia el conocimiento teórico frente al saber ligado a las capacidades operativas propias de las técnicas; una supremacía racional y dogmática de la teoría, que nació con el programa teorícista desarrollado por la antigua filosofía helenística y se extendió desde lo epistemológico hasta lo ético y lo político (Luján, 1989; Medina, 1988). Tal y como señala Cardwell (1994), también han contribuido a consolidar esta situación algunos historiadores de la ciencia, que han ignorado la historia de la técnica y la tecnología, incluso distinguiendo con ironía y desprecio entre historia de *thinkers* (pensadores) y de *tinkers* (mañosos y chapuceros).

Este credo teorícista siempre ha estado presente en la civilización occidental y, a finales del siglo XIX, condujo a que la ciencia moderna se apropiara de la tecnología para subordinarla a lo abstracto y considerarla una mera aplicación suya. Se estableció así un modelo de dependencia jerárquica de la tecnología respecto a la ciencia que, pese a su aparente ingenuidad, permitía justificar las demandas de los científicos académicos a la sociedad de más fondos y recursos para sus investigaciones (Layton, 1988). Esta imagen se ha mantenido acriticamente hasta nuestra época, ocultando tanto las profundas relaciones que existen entre la tecnología y la ciencia como las interacciones entre la construcción de las teorías científicas y los conocimientos producidos por las tecnologías (Sanmartín, 1990b), tal y como muestran los desarrollos histórico y social de la ciencia (Bernal, 1964; Sánchez-Ron, 1992) y la tecnología (Basalla, 1988; Cardwell, 1994).

Hay diferentes formas de entender la noción de tecnología, un concepto que cada vez es más complejo; así mismo, hay que tener en cuenta que su significado ha ido cambiando a través de los tiempos y que es polisémico en la vida cotidiana. Del sentido más estricto que tenía en los siglos XVIII y XIX se ha pasado hoy a interpretarla como un conjunto de fenómenos, herramientas, instrumentos, máquinas, organizaciones, métodos, técnicas, sistemas, etc. (Osorio, 2002). Por ejemplo, Kline (1985) se refiere a diversos significados de la tecnología, tales como:

- El conjunto de productos artificiales elaborados por las personas.
- Los procesos de producción; esto es, el conjunto de personas, máquinas y recursos necesarios en un sistema socio-técnico de fabricación.
- Los conocimientos, metodologías, capacidades y destrezas necesarias para poder realizar las tareas productivas.
- El sistema socio-técnico necesario para poder utilizar los productos fabricados.

La mayoría de las personas sólo suelen tener en cuenta las tres primeras acepciones, ignorando la importancia de la última. El primer punto de vista, conocido como la visión instrumental o artefactual de la tecnología, es posiblemente el más arraigado entre el público y se corresponde con la imagen tradicional que procede de la ingeniería, en la que los productos tecnológicos se aíslan de su entramado social (González-García, López-Cerezo y Luján, 1996; Quintanilla, 1998).

Otras aproximaciones más adecuadas contemplan la tecnología como un sistema complejo con una serie de componentes heterogéneos que se relacionan entre sí (instrumentos y artefactos técnicos, procesos de

producción, control y mantenimiento, cuestiones organizativas, aspectos científicos, asuntos legales, recursos naturales y artificiales, etc.), con las personas y el medio ambiente (González-García, López-Cerezo y Luján, 1996; Hughes, 1983, 1987; Osorio, 2002; Pacey, 1983, 1999; Quintanilla 1988, 1998). Estos puntos de vista también permiten abrir la tecnología a la participación pública para su evaluación y control a la hora de tomar decisiones responsables. Es posible hacer diferentes enfoques desde una perspectiva sistémica, pero aquí se prestará atención al que centra su atención en la actividad tecnológica (Pacey, 1983, 1999).

El modelo conceptual sistémico de la práctica tecnológica elaborado por Pacey (1983) incluye aspectos relacionados con tres dimensiones:

- *Técnica* (conocimientos, capacidades y destrezas técnicas; instrumentos, herramientas y máquinas; recursos humanos y materiales; materias primas, productos obtenidos, desechos y residuos; etc.). Esta dimensión se asocia al significado más restringido, pero también más habitual, de la tecnología.

- *Organizativa* (política administrativa: planificación y gestión; cuestiones de economía mercado e industria; aspectos relacionados con la actividad profesional productiva y la distribución de productos; agentes sociales: empresarios, sindicatos, etc.; usuarios y consumidores; etc.). Al incluir asuntos sociales y políticos relevantes, esta dimensión extiende la noción de la tecnología.

- *Ideológica-cultural* (finalidades y objetivos; sistema de valores y códigos éticos; creencias sobre el progreso; etc.). Esta dimensión también amplía el concepto de tecnología, al tomar en consideración los valores y las ideologías que conforman una perspectiva cultural capaz de influir en la actividad creativa de los diseñadores e inventores tecnológicos.

Posteriormente, Pacey (1999) ha añadido una cuarta dimensión implícita, que subyace entre las otras tres, a la que llama *experiencia personal*. De esta manera intenta compensar el énfasis que han puesto los estudios sociales de la tecnología en lo colectivo frente a lo personal, incluyendo en éste el papel de lo afectivo y lo axiológico, esto es, los sentimientos y los valores personales sobre la tecnología. Así, el sentido social de la tecnología coexistiría con las respuestas personales (Osorio, 2002).

La propuesta de Pacey (1983) es que el análisis, la valoración y la gestión de la tecnología se haga tomando como referencia todas las dimensiones en conjunto, pues cambios en aspectos de cualquiera de ellas pueden producir ajustes y modificaciones en los de las otras; de otra manera, plantea que la práctica tecnológica se aborde como un sistema. Por ejemplo, una concepción de la tecnología restringida a su dimensión técnica daría respuestas exclusivamente técnicas a los problemas tecnológicos de interés social; sin embargo, muchas de las soluciones dependen en mayor grado de cambios socio-tecnológicos correspondientes a las dimensiones organizativa e ideológica-cultural. Esta otra forma de abordar los problemas tecnológicos que afectan a la sociedad puede favorecer la participación social para su resolución, por lo que es probable que las soluciones aportadas lleguen a estar más de acuerdo con los deseos e intereses de los ciudadanos.

En resumen, básicamente puede decirse que hay tres grandes formas de entender la tecnología. Una es como ciencia aplicada, que prácticamente le niega cualquier rasgo distintivo y la considera como un apéndice de la ciencia. Otra acepción muy común, y a la vez restringida, es la que se basa sólo en las capacidades y destrezas necesarias para realizar las tareas productivas y, sobre todo, en los propios artefactos elaborados. Un concepto más amplio de la tecnología, que permite situarla en su contexto social, es considerarla como un sistema, teniendo en cuenta también las implicaciones tecnológicas sociales y ambientales (Acevedo, 1996, 1998; Fleming, 1989; Gilbert, 1992; Rodríguez-Acevedo, 1998) derivadas de sus dimensiones organizativa e ideológico-cultural.

Rasgos del conocimiento tecnológico

Sin duda, hoy es muy difícil negar que la tecnología utiliza métodos sistemáticos de investigación similares a los de la ciencia y que también hace uso de los hallazgos de ésta. Ahora bien, aunque la ciencia suele dictar los límites de las posibilidades físicas de un artefacto, no determina en absoluto su forma final. Además, el conocimiento científico capaz de estimular una innovación tecnológica no tiene que ser el más avanzado ni se presenta en su forma más pura; teorías científicas de segunda o tercera mano pueden prestar un buen servicio a la tecnología en muchas ocasiones (Basalla, 1988). Ésta no se limita a tomar prestadas sus ideas de la ciencia sino que desarrolla sus propios métodos, perviviendo también algunas características específicas de oficios tradicionales, conocimientos tácitos y habilidades técnicas; esto es, el *know-how*, de acuerdo con el argot norteamericano al uso desde 1897 (Cardwell, 1994). La tecnología se nutre tanto de su propia experiencia como de otras áreas, constituyendo un conocimiento básico estructurado por la tensión entre las demandas de la funcionalidad del diseño tecnológico y las restricciones que le imponen el entorno socio-cultural y el medio ambiente (Staudenmaier, 1985).

El conocimiento tecnológico, que en esencia es interdisciplinar y pragmático, está orientado hacia una praxis concreta para la resolución de complejos problemas y la toma de decisiones en cuestiones de la vida cotidiana que afectan profundamente a la sociedad (Acevedo, 1996). En él conviven conocimientos de carácter proposicional obtenidos a partir de diversos campos junto a otros operativos relacionados con el saber hacer. El conocimiento tecnológico tiene, pues, rasgos propios que lo hacen diferente, formal y sustancialmente, del originado por la ciencia (Acevedo, 1998a,b; Gardner, 1997). Además, las operaciones de diseño, desarrollo y evaluación de tecnologías se ajustan a una lógica diferente a la de la investigación científica. Todo esto se revela claramente en los diversos componentes de la tecnología, entre los que destacaremos los siguientes:

- *Componente científico-tecnológico*, que realiza las relaciones mutuas entre la ciencia y la tecnología respetando sus propias finalidades y objetivos. La tecnología utiliza numerosos conocimientos científicos, pero éstos se someten a un tratamiento previo de reelaboración y reconstrucción conceptual con el fin de integrarlos y adaptarlos para su adecuación al contexto tecnológico; así mismo, hace uso de algunos procedimientos metodológicos semejantes a los empleados por la ciencia. Ésta recibe

también muchas aportaciones de la tecnología, no sólo instrumentos y sistemas sino también métodos, conocimientos teóricos, conceptos y modelos que se usan como analogías y metáforas, etc.

- *Componente histórico-cultural*, que subraya la relación entre las técnicas desarrolladas por la humanidad y los cambios que éstas provocan en el medio ambiente, en la cultura y en las condiciones de vida de las personas; así mismo, se ocupa de cómo la sociedad condiciona la actividad tecnológica. En este componente pueden incluirse también técnicas artísticas como la arquitectura, la pintura, la escultura, la música, la fotografía, el cine, etc.

- *Componente organizativo-social*, que muestra cómo la dimensión organizativa es uno de los elementos más importantes de la trama tecnológica. A la vez, destaca la tecnología como factor que influye decisivamente sobre las diversas formas de organización social.

- *Componente verbal-iconográfico*, que destaca modos de expresión y comunicación propios de la tecnología: símbolos, esquemas, vocabulario específico, etc.

- *Componente técnico-metodológico*, que es el conjunto de capacidades y destrezas técnicas necesarias para manipular instrumentos y fabricar productos y otros sistemas tecnológicos, así como los procedimientos y estrategias que hacen falta para resolver problemas reales en situaciones concretas.

Siguiendo a Staudenmaier (1985), Fleming (1989) ha clasificado de otra forma los principales elementos que configuran el conocimiento tecnológico:

- *Conceptos científicos* que hay que reelaborar, rebajando su nivel de abstracción, para adaptarlos a las necesidades planteadas y al contexto del diseño tecnológico.

- *Datos problemáticos* referentes a aspectos discutibles de la actividad tecnológica, como pueden ser los posibles impactos sociales y medioambientales de una tecnología, los dilemas que surgen al adoptar una innovación tecnológica, las dificultades que aparecen cuando una tecnología diseñada para un determinado contexto se transfiere sin más a otros ambientes culturales diferentes, etc.

- *Teoría tecnológica* como un cuerpo de conocimientos que usa métodos experimentales sistemáticos parecidos a los de la ciencia pero centrados en el diseño, la construcción, el comportamiento y la evaluación de artefactos y sistemas tecnológicos. Una teoría de este tipo supone siempre reflexión sobre la práctica tecnológica, por lo que pueden considerarse como mediadora entre ésta y una teoría científica más abstracta.

- *Pericia técnica (know-how)* como repertorio de procedimientos y técnicas específicas con instrumentos, máquinas y otros elementos, acompañados de un conjunto de criterios pragmáticos que se basan sobre todo en un conocimiento tácito cuya codificación es casi imposible.

En suma, al igual que ocurre con las comunidades de científicos, ingenieros, médicos y otros profesionales forman comunidades de tecnólogos con sus propios ámbitos de problemas, teorías, métodos,

procedimientos y técnicas en donde se emplean elementos derivados del conocimiento científico, adaptados a su peculiar modo de hacer, junto a conocimientos tácitos de carácter técnico, tradiciones basadas en la experiencia acumulada y prácticas empresariales relacionadas con la comercialización y el uso de sus productos y servicios.

Una consecuencia errónea de la visión de la tecnología como ciencia aplicada es considerar que las teorías con las que trabaja un tecnólogo son menos complejas que las de la ciencia, un punto de vista que fomenta la superioridad del saber científico sobre el tecnológico (Osorio, 2002). Como la principal finalidad de los tecnólogos no es contribuir a la construcción de cuerpos coherentes de conocimientos teóricos (Fleming, 1989), pues éstos son más un medio que un fin (Cajas, 1999), para muchas personas la existencia de teorías procedentes de la tecnología no es tan evidente como la de teorías científicas. Sin embargo, se han elaborado muchas en medicina, informática, comunicación y, en general, las diversas ingenierías; algunas de ellas han contribuido, y continúan haciéndolo en buena medida, al desarrollo de teorías científicas (Sanmartín, 1990b). Ahora bien, conviene no olvidar que el criterio de validez de una teoría tecnológica no es tanto que sea verdadera o verosímil sino que funcione en la práctica y sea útil, lo que supone distinguir entre racionalidad científica y racionalidad tecnológica.

Por otra parte, cuando la enseñanza de las ciencias presta atención a la tecnología generalmente suele limitarse a ilustrar ciertos principios de la ciencia (Gardner, 1994, 1999), lo que también favorece la visión de la tecnología como ciencia aplicada. No obstante, hay que tener en cuenta que el funcionamiento de los productos tecnológicos no puede ser explicado sobre la base de un único principio científico, porque incluso los más sencillos forman complejos sistemas con elementos muy diversos (Gardner, 1997); pero, habitualmente, en la enseñanza de las ciencias casi nunca suele explorarse el funcionamiento de estos sistemas tecnológicos (Valdés *et al.*, 2002).

Gilbert (1995) ha señalado algunas diferencias entre los conocimientos científicos y tecnológicos atendiendo a diversas características de cada uno: *finalidad* (explicación *vs.* fabricación), *interés* (lo natural *vs.* lo artificial), *método* (analítico *vs.* sintético), *procedimiento* (simplificación del fenómeno *vs.* complejidad del artefacto) y *resultado* (conocimiento generalizable *vs.* objeto particular y concreto). Estos rasgos podrían parecer útiles para resaltar diferencias entre la ciencia y la tecnología; sin embargo, en la actualidad ambas no son totalmente independientes, con objetivos, métodos y productos tan distintos (Acevedo, 1997b; Gardner, 1994; González-García, López-Cerezo y Luján, 1996), por lo que hacer demasiado hincapié en las diferencias también podría contribuir a que la educación científica ignore la tecnología (Maiztegui *et al.*, 2002).

Por ejemplo, respecto a las finalidades de la ciencia, ésta no pretende sólo buscar explicaciones del mundo sino también hacer predicciones, lo que obliga a intervenir además de a representar (Hacking, 1983); en este proceso la ciencia adquiere rasgos que suelen atribuirse específicamente a la tecnología. Más aún, desde su nacimiento entre los siglos XVI y XVII, el propósito de la ciencia moderna no fue solamente sustituir la intención

básicamente teleológica (finalista) propia de la ciencia helenista clásica por una explicación causal de la estructura del mundo natural, sino que también tuvo un interés instrumental y de utilidad, por el que se pretendía encontrar las causas de los fenómenos para controlar técnicamente su producción y conseguir dominar la naturaleza; un empeño que queda muy claro en las obras de filósofos tan distintos como Bacon (1979) y Descartes (1979), donde se subrayan con frecuencia que verdad y utilidad son inseparables. En suma, la ciencia moderna también tuvo desde sus orígenes una clara vocación tecnológica, que indudablemente se ha incrementado en la actualidad. Por otro lado, aunque el método analítico sea característico de la ciencia, ésta también utiliza una metodología sintética, como ocurre cuando se construyen grandes cosmovisiones del mundo. Tampoco debe olvidarse que el trabajo científico incluye instrumentos y estrategias propias del diseño tecnológico y que, además, los problemas y objetivos de la tecnología influyen cada vez más en la ciencia actual (Acevedo, 1997b). Así pues, puede afirmarse sin ambigüedades que la tecnología contemporánea se apoya en la ciencia, pero que al mismo tiempo constituye un requisito de ésta (Gardner, 1997).

Una breve revisión de las creencias del alumnado y el profesorado sobre la tecnología y sus relaciones con la ciencia

En los apartados precedentes se ha pasado revista a diferentes aproximaciones a la noción de tecnología y los principales rasgos del conocimiento tecnológico. Así mismo, se han analizado cinco modelos acerca de las relaciones entre la ciencia y la tecnología. Cabe preguntarse ahora qué grado de incidencia tienen las perspectivas teóricas expuestas en las creencias del alumnado y el profesorado sobre estas cuestiones. De manera resumida, en la tabla adjunta se muestran ejemplos de algunas de estas creencias. Los porcentajes corresponden a los resultados de las evaluaciones hechas a amplias muestras de alumnado y profesorado de Mallorca utilizando el *Cuestionario de Opiniones y Creencias sobre Ciencia, Tecnología y Sociedad* –COCTS– (Manassero, Vázquez y Acevedo, 2001, 2003), que han sido informadas recientemente (Acevedo, Vázquez y Manassero, 2002; Acevedo *et al.*, 2002; Acevedo *et al.*, 2002a,b).

Las ideas de los estudiantes y el profesorado acerca de la tecnología son generalmente menos adecuadas que sobre la ciencia (Acevedo, 2001; Manassero y Vázquez, 2002; Manassero, Vázquez y Acevedo, 2001). En diversos estudios de los años ochenta, sobre todo norteamericanos (EE.UU. y Canadá), se indican que la tecnología se considera sinónima de la ciencia aplicada (Fleming, 1987, 1988). Aunque se ha apuntado que los estudiantes europeos no perciben con tanta intensidad la tecnología de esta manera, éstos conocen muchos más ejemplos de tecnología orientada por la ciencia que de ciencia guiada por la tecnología (Fleming, 1989). Es corriente, pues, que ignoren la existencia de fenómenos que la ciencia ha podido abordar no sólo gracias a los avances tecnológicos que han facilitado la instrumentación necesaria para investigarlos, sino porque han sido artificialmente creados por la propia tecnología. En efecto, la mediación de los instrumentos técnicos puede llegar a transformar la propia experimentación científica al modificar la naturaleza del objeto. Valdés *et al.* (2002) citan varios casos de la electricidad y el electromagnetismo (primer circuito de Volta,

experimento de Oersted, inducción electromagnética de Faraday, etc.), subrayando que en todos ellos más que referirse a la utilización de instrumentos tecnológicos en la investigación científica, procede hablar de una auténtica inmersión de ésta en la propia práctica tecnológica (Ihde, 1997).

En otros trabajos hechos en la década de los noventa, Vázquez y Manassero (1997; Manassero y Vázquez, 1998) encontraron la creencia anotada en alrededor de la cuarta parte del alumnado y cerca de la mitad del profesorado de Mallorca, porcentajes inferiores al de los estudios canadienses de Zoller *et al.* (1990, 1991), en los que las respuestas de este tipo están próximas a la mitad de alumnos y casi dos tercios de profesores, y al estadounidense de Rubba y Harkness (1993), con casi dos quintos de profesores en formación inicial y cerca de cuatro quintos en ejercicio, y más parecidos al realizado en Israel por Ben-Chaim y Zoller (1991), con menos de un tercio de estudiantes y más de la mitad del profesorado. En los resultados que se exponen en la tabla puede comprobarse que esta idea es muy habitual en los profesores en ejercicio y también aparece en el profesorado en formación inicial y en el alumnado, aunque con una frecuencia menor (cuestiones 10211, 10412 y 10413). En suma, con porcentajes mayores o menores, ésta es la imagen más habitual de la tecnología, que se reproduce y guía las respuestas a otras cuestiones sobre las relaciones entre ciencia y tecnología.

Fleming (1987) ha señalado que los estudiantes de educación secundaria superior suelen tener dificultades para distinguir entre ciencia y tecnología, si bien cuando se les pregunta en términos generales parecen diferenciar los papeles que juegan cada una y también son capaces de reconocer algunas relaciones adecuadas o plausibles entre ambas. Rubba y Harkness (1993) apuntan que tampoco los profesores, sobre todo en ejercicio, son capaces de discernir bien entre las dos. Esto mismo ha sido informado por Vázquez y Manassero (1997; Manassero y Vázquez, 1998, 2002), destacando que los alumnos asumen la estrecha conexión actual entre ciencia y tecnología, pero distinguen entre ambas. Ahora bien, en un artículo posterior, Fleming (1989) matizaba que cuando se profundiza con otras preguntas puede comprobarse la tendencia del alumnado a identificar ciencia y tecnología como una empresa común, quizás como consecuencia de una mala comprensión de su dependencia mutua.

Según Ryan y Aikenhead (1992) los estudiantes de bachillerato canadienses suelen confundir ciencia con tecnología, estando en su origen la imagen de la tecnología como ciencia aplicada, que aparece explícita en muchos currículos y textos de ciencia habituales (Gardner, 1994, 1999). Hoy en día, esto también podría estar promovido por la utilización del concepto postmoderno de tecnociencia para describir la creciente imbricación entre la ciencia y la tecnología. Los estudiantes mallorquines asumen esta fuerte relación actual (cuestión 10411), aunque la opción que establece que la tecnología es muy parecida a la ciencia no recibe prácticamente ningún apoyo (Acevedo *et al.*, 2002a; Manassero y Vázquez, 2002). Por otra parte, la percepción de complementariedad entre ciencia y tecnología es la razón esgrimida por cerca de la cuarta parte de estos estudiantes para justificar que la sociedad debe apoyar con fondos a ambas (cuestión 10421).

Creencias principales	Alumnos (%)	Futuros profesores (%)	Profesores en activo (%)
(10211) La tecnología es ciencia aplicada	20,9	37,0	45,7
(10211) La tecnología se describe como procesos, instrumentos y artefactos	24,6	23,5	22,1
(10211) Además de diseñar y saber hacer cosas (<i>know-how</i>), la tecnología incluye aspectos organizativos, económicos y a los consumidores	16,1	16,5	9,5
(10211) La tecnología es una forma de resolver problemas prácticos	13,5	13,0	12,6
(10311) Actitud ambivalente y preventiva frente al significado de I+D	37,9	34,4	23,8
(10311) I+D es una combinación de ciencia y tecnología	17,1	21,7	25,9
(10311) En el significado de I+D subyace la visión de la tecnología determinada por la ciencia	14,0	17,1	24,1
(10411) Se señalan relaciones adecuadas entre ciencia y tecnología	71,3		
(10411) La tecnología se subordina jerárquicamente a la ciencia	11,1		
(10412) La tecnología es ciencia aplicada	42,5		
(10412) El avance de la ciencia conduce a nuevas tecnologías	31,9		
(10412) La ciencia proporciona el conocimiento básico a la tecnología	13,4		
(10413) Los avances tecnológicos conducen al progreso de la ciencia	30,2		
(10413) La tecnología suministra herramientas y técnicas a la ciencia	25,0		
(10413) La tecnología es ciencia aplicada	15,2		
(10413) La disponibilidad de tecnología influye en la dirección de la investigación científica	14,4		
(10421) Hay que invertir en ciencia y tecnología, porque cada una a su manera son provechosas para la sociedad	37,5		
(10421) Hay que invertir en ciencia y tecnología porque ambas interaccionan y se complementan mutuamente	22,3		
(10421) Hay que invertir en ciencia y tecnología, porque el conocimiento científico es necesario para el avance tecnológico	21,4		
(10431) La tecnología tiene un cuerpo de conocimientos propio, aunque su avance también depende del conocimiento científico	36,8	51,5	47,3
(10431) Cada aplicación tecnológica se basa en un descubrimiento científico	29,5	27,0	29,0

Tabla 1.- Ejemplos de creencias del alumnado y el profesorado sobre el significado de la tecnología y sus relaciones con la ciencia

En un artículo de Fleming (1989) se indicaba que muchos alumnos que parecían comprender aceptablemente la influencia de la ciencia en la tecnología, no percibían igual de bien la de ésta sobre la ciencia; una vez más, se atribuye el origen de este resultado a la imagen de la tecnología como ciencia aplicada. En otros estudios posteriores se ha encontrado justamente lo contrario; por ejemplo, los profesores en ejercicio y en formación inicial del trabajo realizado por Rubba y Harkness (1993) y nuestros estudiantes mallorquines muestran mejor comprensión de la influencia de la tecnología en la ciencia que de ésta en la tecnología. En la primera cuestión (10413) predomina la idea de que la tecnología amplía la capacidad de progreso de la ciencia, con mayoría de creencias adecuadas frente a la que identifica la tecnología con ciencia aplicada, mientras que en la segunda (10412) esta última es el punto de vista dominante.

Como se ha señalado, cuando se mantiene que la tecnología no es más que ciencia aplicada se está ignorando la naturaleza específica del conocimiento tecnológico. Esta posición se apoya en la creencia de que la tecnología viene determinada prioritariamente por la ciencia y se subordina jerárquicamente a ella, lo que también origina una comprensión limitada del significado de Investigación y Desarrollo (Fleming 1989, Manassero y Vázquez, 1998, 2002; Vázquez y Manassero, 1997). La mitad de los profesores de Mallorca (en ejercicio y en formación inicial) reconoce que la tecnología tiene un cuerpo de conocimientos propio, aunque más de la cuarta parte sostiene su subordinación jerárquica a la ciencia (Acevedo *et al.*, 2002b), un porcentaje que aún es mayor en el profesorado del estudio hecho por Rubba y Harkness (1993). Aunque en menor medida, algo similar sucede con los estudiantes mallorquines (cuestión 10431). Así mismo, en el significado que se asigna a I+D subyace parcialmente el punto de vista de la tecnología determinada por la ciencia, que alcanza a casi la cuarta parte de profesores en ejercicio y porcentajes algo menores, pero significativos, de profesores en formación inicial y alumnos (cuestión 10311). La subordinación de la tecnología a la ciencia aparece también, explícita o implícitamente, en otras respuestas del alumnado (cuestiones 10411 y 10412).

La identificación de la tecnología con instrumentos y artefactos técnicos es otra creencia incompleta que también goza de bastante apoyo entre amplios porcentajes de estudiantes, y algo más bajos de profesores, del mundo occidental (Acevedo, Vázquez y Manassero, 2002; Bame, Dugger y De Vries, 1993; Ben-Chaim y Zoller, 1991; Rennie, 1987; Rubba y Harkness, 1993; Zoller *et al.*, 1991). Se trata de la perspectiva instrumental o artefactual de la tecnología a la que ya se ha hecho referencia; la cual podría verse potenciada aún más por la creciente integración de utensilios tecnológicos en la enseñanza de la ciencia (De Vries, 1996).

Por último, generalmente son bastante minoritarias otras nociones más adecuadas como la que relaciona la tecnología con la necesidad de resolver problemas prácticos o la más apropiada que incluye, además del diseño y el saber hacer (*know-how*), la organización y los procesos (Acevedo, 1996; Gilbert, 1992; Rubba y Harkness, 1993), sobre todo en el caso del profesorado en activo (cuestión 10211). Esta última noción invoca una visión más compleja y sistémica de la tecnología tal y como que se ha expuesto en este artículo.

Conclusiones e implicaciones para el profesorado

Al igual que ocurre con los futuros profesores en formación inicial (Acevedo *et al.*, 2002b), las cuestiones que se refieren a la tecnología y sus conexiones con la ciencia revelan dificultades y limitaciones del pensamiento del profesorado en ejercicio de todos los niveles (primaria, secundaria y universidad) evaluado con el COCTS (Acevedo *et al.*, 2002), con porcentajes de respuestas adecuadas por debajo de la media general y más elevados de inapropiadas en comparación con las que dan a otras cuestiones de las diferentes dimensiones del COCTS. Entre los aspectos más problemáticos pueden destacarse las visiones instrumental y como ciencia aplicada de la tecnología (10211), subordinada a la ciencia (10311) o excesivamente dirigida por ésta (10431) y la mediocre comprensión del significado de I+D (10311). Estas insuficiencias cuestionan seriamente su preparación para introducir adecuadamente la educación tecnológica en la enseñanza de las ciencias y poder implicarse así con más eficacia en la alfabetización científico-tecnológica de todas las personas, que es, sin duda, el reto más importante que tiene la enseñanza de las ciencias para el siglo XXI (Acevedo, Vázquez y Manassero, 2002, 2003; Cajas, 2001b).

En efecto, cuando algo no se comprende bien o no se valora demasiado suele excluirse, por lo que cabe esperar que el profesorado tienda a ignorar la presencia de la tecnología en la enseñanza de las ciencias, o no la contemple como se merece ni, por supuesto, de forma apropiada. Sin entrar ahora en consideraciones epistemológicas relacionadas con la comprensión de una concepción de la naturaleza de la ciencia capaz de incluir la tecnología y la tecnociencia contemporáneas (Acevedo, 2000; Acevedo y Acevedo, 2002), desde una perspectiva propia de la didáctica de las ciencias, la exclusión de la tecnología del currículo de ciencias dificulta la relación entre la ciencia escolar y la experiencia diaria del alumnado, de la que la tecnología es una parte sustancial; algo que los profesores de ciencias no suelen tener en cuenta generalmente (Cajas, 1999, 2001a). Sin duda esto resulta muy negativo a la hora de favorecer un aprendizaje significativo, eliminando un referente importante para su logro, como es la transferencia de aprendizajes escolares a la vida cotidiana (Acevedo, Manassero y Vázquez, 2002; Acevedo, Vázquez y Manassero, 2003; Vázquez *et al.*, 2001).

Para mejorar su formación en este campo, no basta con que el profesorado reconozca que las actividades científicas conllevan diversas tecnologías o el diseño tecnológico, ni que para resolver los problemas tecnológicos contemporáneos hacen falta ideas, conceptos y teorías científicas, como de manera un poco simple se ha despachado muchas veces el tema en la enseñanza de las ciencias; es preciso que avancen más en el significado de las nociones de ciencia y tecnología, incluyendo la presencia de lo social en la naturaleza y la práctica de ambas, ya que se trata de construcciones humanas. Es necesario, así mismo, provocar la reflexión del profesorado sobre los impactos que la ciencia y la tecnología ejercen en la sociedad, los cuales pueden alcanzar al sistema de valores sociales dominante, incluso mucho más allá de las finalidades y previsiones que inicialmente se pensaban (Désautels y Larochelle, 2003). A la vez, también hay que favorecer su comprensión sobre cómo los valores sociales intervienen contextualmente en la forma de desarrollarse, relacionarse y

diferenciarse la ciencia y la tecnología, tanto en el pasado como en el presente (Acevedo, 1998a,b). Para conseguirlo es imprescindible asumir con todas sus consecuencias la orientación CTS en la formación del profesorado, con el fin de dotarle de la cultura científica y tecnológica necesaria para abordar los nuevos retos que se presentan en el siglo XXI a la educación científica y tecnológica (Acevedo, Manassero y Vázquez, 2002; Acevedo, Vázquez y Manassero, 2003).

Referencias bibliográficas

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. (1997a). Cómo puede contribuir la Historia de la Técnica y la Tecnología a la educación CTS. En R. Jiménez y A. Wamba (Eds.): *Avances en la Didáctica de las Ciencias Experimentales*, pp. 287-292. Huelva: Servicio de Publicaciones de la Universidad de Huelva. En línea con el título ¿Qué puede aportar la Historia de la Tecnología a la educación CTS? en *Sala de Lecturas CTS+I de la OEI*, 2001. En <http://www.campus-oei.org/salactsi/acevedo3.htm>.

Acevedo, J.A. (1997b). ¿Publicar o patentar? Hacia una ciencia cada vez más ligada a la tecnología. *Revista Española de Física*, 11(2), 8-11. En línea en *Sala de Lecturas CTS+I de la OEI*, 2001. En <http://www.campus-oei.org/salactsi/acevedo4.htm>.

Acevedo, J.A. (1998a). Análisis de algunos criterios para diferenciar entre ciencia y tecnología. *Enseñanza de las ciencias*, 16(3), 409-420. En <http://www.bib.uab.es/pub/ensenanzadelasciencias/02124521v16n3p409.pdf>.

Acevedo, J.A. (1998b). Tres criterios para diferenciar entre ciencia y tecnología. En E. Banet y A. de Pro (Eds.): *Investigación e Innovación en la Enseñanza de las Ciencias*. Vol I, pp. 7-16. Murcia: DM. En línea en *Sala de Lecturas CTS+I de la OEI*, 2002. En <http://www.campus-oei.org/salactsi/acevedo12.htm>.

Acevedo, J.A. (2000). Algunas creencias sobre el conocimiento científico de los profesores de Educación Secundaria en formación inicial. *Bordón*, 52(1), 5-16. En línea en *Sala de Lecturas CTS+I de la OEI*, 2003. En <http://www.campus-oei.org/salactsi/acevedo18.htm>.

Acevedo, J.A. (2001). Una breve revisión de las creencias CTS de los estudiantes. En línea en *Sala de Lecturas CTS+I de la OEI*. En <http://www.campus-oei.org/salactsi/acevedo.htm>.

Acevedo, J.A. y P. Acevedo (2002). Creencias sobre la naturaleza de la ciencia. Un estudio con titulados universitarios en formación inicial para ser profesores de Educación Secundaria. En línea en *Revista Iberoamericana de Educación, Edición electrónica De los Lectores*. En <http://www.campus-oei.org/revista/deloslectores/244Acevedo.PDF>.

Acevedo, J.A.; Manassero, M.A. y A. Vázquez (2002). Nuevos retos educativos: Hacia una orientación CTS de la alfabetización científica y tecnológica. *Pensamiento Educativo*, 30, 15-34.

Acevedo, J.A.; Vázquez, A.; Acevedo, P. y M.A. Manassero (2002). Un estudio sobre las actitudes y creencias CTS del profesorado de primaria, secundaria y universidad. *Tarbiya*, 30, 5-27. En línea en *Sala de Lecturas CTS+I de la OEI*, 2003. En <http://www.campus-oei.org/salactsi/acevedo15.htm> >.

Acevedo, J.A.; Vázquez, A. y M.A. Manassero (2002). Evaluación de actitudes y creencias CTS: diferencias entre alumnos y profesores. *Revista de Educación*, 328, 355-382. En línea en *Sala de Lecturas CTS+I de la OEI*, 2003. En <http://www.campus-oei.org/salactsi/acevedo14.htm>.

Acevedo, J.A.; Vázquez, A. y M.A. Manassero (2003). Papel de la educación CTS en una alfabetización científica y tecnológica para todas las personas. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 2, 2, Artículo 1. En <http://www.saum.uvigo.es/reec/>.

Acevedo, J.A.; Vázquez, A.; Manassero, M.A. y P. Acevedo (2002a). Actitudes y creencias CTS de los alumnos: su evaluación con el Cuestionario de Opiniones sobre Ciencia, Tecnología y Sociedad. En línea en *Revista Iberoamericana de Ciencia, Tecnología, Sociedad e Innovación*, 2. En <http://www.campus-oei.org/revistactsi/numero2/varios1.htm>.

Acevedo, J.A.; Vázquez, A.; Manassero, M.A. y P. Acevedo (2002b). Persistencia de las actitudes y creencias CTS en la profesión docente. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 1, 1, Artículo 1. En <http://www.saum.uvigo.es/reec>.

Bacon, F. (1979). *Novum Organum*. Barcelona: Fontanella. [Original de 1620].

Bame, E.A.; Dugger, W.E.Jr. y M.J. De Vries (1993). Pupils' attitudes towards technology: PATT-USA. *Journal of Technology Studies*, 19(1), 40-48.

Basalla, G. (1988). *The evolution of technology*. Cambridge, MA: Cambridge University Press. Traducción de J. Vigil (1991): *La evolución de la tecnología*. Barcelona: Crítica.

Ben-Chaim, D. y U. Zoller (1991). The STS outlook profiles of Israeli High School students and their teachers. *International Journal of Science Education*, 13(4), 447-458.

Bernal, J.D. (1964). *Science in History*. London: Watts. Traducción de J.R. Capella (1967): *Historia social de la ciencia*. Barcelona: Península.

Boudia, S. (1997). El laboratorio Curie. En el corazón de una red de competencias. *Mundo científico*, 183, 845-849.

Bunge, M. (1966). Technology as applied science. *Technology and Culture*, 7(3), 329-347.

Bunge, M. (1969). *La investigación científica. Su estrategia y su filosofía*. Barcelona: Ariel.

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. (2001a). Alfabetización científica y tecnológica. La transposición didáctica del conocimiento tecnológico. *Enseñanza de las Ciencias*, 19(2), 243-254.

Cajas, F. (2001b). The Science/Technology Interaction: Implications for Science Literacy. *Journal of Research in Science Teaching*, 38(7), 715-729.

Cardwell, D. (1994). *The Fontana History of Technology*. London: Harper Collins Publishers. Traducción castellana (1996): *Historia de la Tecnología*. Madrid: Alianza.

Désautels, J. y M. Larochelle (2003). Educación científica: el regreso del ciudadano y de la ciudadana. *Enseñanza de las Ciencias*, 21(1), 3-20.

Descartes, R. (1979). *Discurso del método*. Madrid: Alianza. [Original de 1637].

De Vries, M.J. (1996). Technology Education: Beyond the "Technology is Applied Science" Paradigm. *Journal of Technology Education*, 8(1), 7-15.

Echeverría, J. (1999). *Introducción a la metodología de la ciencia. La filosofía de la ciencia en el siglo XX*. Barcelona: Cátedra.

Fleming, R.W. (1987). High school graduates' beliefs about science-technology-society (II). The interaction among science, technology and society. *Science Education*, 71(2), 163-186.

Fleming, R.W. (1988). Undergraduate science students' views on the relationship between Science, Technology, and Society. *International Journal of Science Education*, 10(4), 449-463.

Fleming, R.W. (1989). Literacy for a technological age. *Science Education*, 73(4), 391-404.

García-Palacios, E.M.; González-Galbarte, J.C.; López-Cerezo, J.A.; Luján, J.L.; Martín-Gordillo, M.; Osorio, C. y C. Valdés (2001). *Ciencia, Tecnología y Sociedad: una aproximación conceptual*. Madrid: OEI.

Gardner, P.L. (1994). Representations of the relationship between science and technology in the curriculum. *Studies in Science Education*, 24, 1-28.

Gardner, P.L. (1997). The roots of technology and science: a philosophical and historical view. *International Journal of Technology and Design Education*, 7(1-2), 13-20.

Gardner, P.L. (1999). The representation of science-technology relationships in Canadian physics textbooks. *International Journal of Science Education*, 21(3), 329-347.

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.

González-García, M.I.; López-Cerezo, J.A. y J.L. Luján (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, MA: Cambridge University Press. Traducción de S. García (1996): *Representar e intervenir*. México DF: UNAM y Paidós.

Hallak, J. y M. Poisson (2000). A summary of the discussions. En M. Poisson (Ed.), *Science education for contemporary society: problems, issues and dilemmas*. Final report of the International Workshop on The reform in the teaching of science and technology at primary and secondary level in Asia: Comparative references to Europe. Part I: *Science education for contemporary society: problems, issues and dilemmas*, pp. 128-133. Beijing, China (27-31 March 2000). International Bureau of Education, The Chinese National Commission for UNESCO. En <http://www.ibe.unesco.org/National/China/chifinal.htm>.

Herschbach, D.R. (1995). Technology as Knowledge: Implications for Instruction. *Journal of Technology Education*, 7(1), 31-42.

Hughes, T.P. (1983). *Networks of Power: Electric supply systems in the US, England and Germany, 1880-1930*. Baltimore, MD: Johns Hopkins University Press.

Hughes, T.P. (1987). The Evolution of Large Technological Systems. En W.E. Bijker, T.P. Hughes y T. Pinch (Eds.): *The Social Construction of Technological Systems: New directions in the Sociology and History of Technology*. Cambridge, MA: MIT Press.

Ihde, D. (1979). *Technics and praxis. A philosophy of technology*. Dordrecht: Reidel.

Ihde, D. (1983). The historical-ontological priority of Technology over Science. En P. Durbin y F. Rapp (Eds.): *Philosophy and Technology*, pp. 235-252. Dordrecht: Reidel.

Ihde, D. (1997). The structure of technology knowledge. *International Journal of Technology and Design Education*, 7(1-2), 73-79.

Kline, S.J. (1985). What is technology? *Bulletin of Science, Technology, and Society*, 5(3), 215-218.

Latour, B. (1987). *Science in Action. How to follow scientists and engineers through society*. Milton Keynes: Open University Press. Traducción de E. Aibar, R. Méndez y E. Penasio (1992): *Ciencia en acción. Cómo seguir a los científicos e ingenieros a través de la sociedad*. Barcelona: Labor.

Layton, D. (1988). Revaluing the T in STS. *International Journal of Science Education*, 10(4), 367-378.

López-Devesa, E.J. (2001). ¿Tecnología y ciencia, o sólo tecnología? Hacia una comprensión de las relaciones ciencia-tecnología. *Argumentos de Razón Técnica*, 4, 195-218.

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

Maiztegui, A.; Acevedo, J.A.; Caamaño, A.; Cachapuz, A.; Cañal, P.; Carvalho, A.M.P.; del Carmen, L.; Dumas Carré, A.; Garritz, A.; Gil, D.; González, E.; Gras-Martí, A.; Guisasola, J.; López-Cerezo J.A.; Macedo, B.;

Martínez-Torregrosa, J.; Moreno, A.; Praia, J.; Rueda, C.; Tricárico, H.; Valdés, P. y A. Vilches (2002). Papel de la tecnología en la educación científica: una dimensión olvidada. *Revista Iberoamericana de Educación*, 28, 129-155. En <http://www.campus-oei.org/revista/rie28a05.PDF>.

Manassero, M.A. y A. Vázquez (1998). *Opinions sobre Ciència, Tecnologia i Societat*. Palma de Mallorca: Conselleria d'Educació, Cultura i Esports, Govern Balear.

Manassero, M.A. y A. Vázquez (2002). Las concepciones de estudiantes y profesores de ciencia, tecnología y su relación: Consecuencias para la educación. *Revista de Ciencias de la Educación*, 191, 315-343.

Manassero, M.A.; Vázquez, A. y J.A. Acevedo (2001). *Avaluació dels temes de ciència, tecnologia i societat*. Palma de Mallorca: Conselleria d'Educació i Cultura del Govern de les Illes Balears.

Manassero, M.A., Vázquez, A. y J.A. Acevedo (2003). *Cuestionario de Opiniones sobre Ciencia, Tecnología y Sociedad (COCTS)*. Princeton, NJ: Educational Testing Service. En <http://www.ets.org/testcoll/>

Martín-Gordillo, M. (2003). Metáforas y simulaciones: alternativas para la didáctica y la enseñanza de las ciencias. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 2, 3, Artículo 10. En: <http://www.saum.uvigo.es/reec/>.

Martín-Gordillo, M. y J.C. González-Galbarde (2002). Reflexiones sobre la educación tecnológica desde el enfoque CTS. *Revista Iberoamericana de Educación*, 28, 17-59. En <http://www.campus-oei.org/revista/rie28a01.PDF>.

Martins, I. (2003). Formação inicial de Professores de Física e Química sobre a Tecnologia e suas relações Sócio-Científicas. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 2, 3, Artículo 6. En: <http://www.saum.uvigo.es/reec/>.

Medina, M. (1988). Extravíos racionales. *Anthropos*, 82/83, 62-69.

Medina, M. (1989). Mito de la teoría y filosofía de la tecnología. *Anthropos*, 94/95, 35-39.

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

Osorio, C. (2002). Enfoques sobre la tecnología. En línea en *Revista Iberoamericana de Ciencia, Tecnología, Sociedad e Innovación*, 2. En <http://www.campus-oei.org/revistactsi/numero2/osorio.htm>.

Pacey, A. (1983). *The Culture of Technology*. Cambridge, MA: MIT Press. Traducción de R. Ríos (1990): *La cultura de la Tecnología*. México DF: FCE.

Pacey, A. (1999). *Meaning in Technology*. Cambridge, MA: MIT Press.

Pestre, D. (2000). Entre torre de marfil y Silicon Valley. *Mundo científico*, 209, 57-60.

Price, D.J. De Solla (1965). Is Technology Historically Independent of Science? A Study in Statistical Historiography. *Technology and Culture*, 6, 553-568.

Price, D.J. De Solla (1972). Science and technology: Distinctions and interrelationships. En R. Barnes (Ed.), *Sociology of science* (pp. 166-180).

Harmondsworth: Penguin Books. Traducción de N.A. Míguez (1980): *Estudios sobre sociología de la ciencia*, pp. 163-177. Madrid: Alianza.

Quintanilla, M.A. (1988). *Tecnología: Un Enfoque Filosófico*. Madrid: Fundesco.

Quintanilla, M.A. (1998). Técnica y cultura. *Teorema*, XVII/3, 49-69. En línea en *Sala de Lecturas CTS+I de la OEI*, 2000. En <http://www.campus-oei.org/salactsi/teorema03.htm>. También en J.A. López-Cerezo, J.L. Luján y E.M. García-Palacios, Eds. (2001), *Filosofía de la Tecnología* (pp. 55-78). Madrid: OEI.

Rennie, L.J. (1987). Teachers' and pupils' perceptions of technology and the implications for curriculum. *Research in Science & Technological Education*, 5(2), 121-133.

Richards, S. (1983). *Philosophy and Sociology of Science*. Oxford: Basil Blackwell. Traducción de H. Alemán (1987): *Filosofía y Sociología de la Ciencia*. México DF: Siglo XXI.

Rodríguez-Acevedo, G.D. (1998). Ciencia, tecnología y sociedad: una mirada desde la educación en tecnología. *Revista Iberoamericana de Educación*, 18, 107-143.

Rubba, P.A. y W.L. Harkness (1993). Examination of Preservice and In-Service Secondary Science teachers' beliefs about Science-Technology-Society interactions. *Science Education*, 77(4), 407-431.

Ryan, A.G. y G.S. Aikenhead (1992). Students' preconceptions about the epistemology of Science. *Science Education*, 76(6), 559-580.

Sánchez-Ron, J.M. (1992). *El poder de la ciencia*. Madrid: Alianza.

Sanmartín, J. (1987). *Los nuevos redentores. Reflexiones sobre la ingeniería genética, la sociobiología y el mundo feliz que nos prometen*. Barcelona: Anthropos.

Sanmartín, J. (1990a). La ciencia descubre. La industria aplica. El hombre se conforma. Imperativo tecnológico y diseño social. En M. Medina y J. Sanmartín (Eds.): *Ciencia, Tecnología y Sociedad*, pp. 168-180. Barcelona: Anthropos.

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

Sjøberg, S. (2002). Science and Technology Education: Current Challenges and Possible Solutions. En E.W. Jenkins (Ed.): *Innovations in science and technology education*, Vol. VIII. París: UNESCO. En http://folk.uio.no/sveinsj/STE_paper_Sjoberg_UNESCO2.htm.

Smith, C. y N. Wise (1989). *Energy and Empire, William Thomson, Lord Kelvin, 1824-1907*. Cambridge: Cambridge University Press.

Staudenmaier, J.M. (1985). *Technology's Storytellers: Reweaving the Human Fabric*. Cambridge, MA: Society for the History of Technology & MIT Press.

Stewart, L. (1992). *The Rise of Public Science*. Cambridge: Cambridge University Press.

Stewart, L. (1997). La ciudad de Londres. El encuentro de la ciencia y el mercado. *Mundo científico*, 183, 810-815.

Valdés, P.; Valdés, R.; Guisasola, J. y T. Santos (2002). Implicaciones de las relaciones ciencia-tecnología en la educación científica. *Revista Iberoamericana de Educación*, 28, 101-128. En <http://www.campus-oei.org/revista/rie28a04.PDF>.

Vázquez, A.; Acevedo, J.A.; Manassero, M.A. y P. Acevedo (2001). Cuatro paradigmas básicos sobre la naturaleza de la ciencia. *Argumentos de Razón Técnica*, 4, 135-176. En línea en *Sala de Lecturas CTS+I de la OEI*, 2003. En <http://www.campus-oei.org/salactsi/acevedo20.htm>.

Vázquez, A. y M.A. Manassero (1997). *Actitudes y valores relacionados con la ciencia, la tecnología y la sociedad en alumnado y profesorado. Implicaciones para la educación de las actitudes*. Memoria final de investigación. Madrid: MEC/CIDE.

Ziman, J. (1984). *An introduction to science studies. The philosophical and social aspects of science and technology*. Cambridge: Cambridge University Press. Traducción de J. Beltrán Ferrer (1986): *Introducción al estudio de las ciencias. Los aspectos filosóficos y sociales de la ciencia y la tecnología*. Barcelona: Ariel.

Zoller, U.; Donn, S.; Wild, R. y P. Beckett (1991). Students' versus their teachers' beliefs and positions on science/technology/society-oriented issues. *International Journal of Science Education*, 13(1), 25-36.

Zoller, U.; Ebenezer, J.; Morely, K.; Paras, S.; Sandberg, V.; West, C.; Wolthers, T. y S.H. Tan (1990). Goal attainment in science-technology-society (S/T/S) education and reality: The case of British Columbia. *Science Education*, 74(1), 19-36.