

NATURALEZA DE LA CIENCIA Y EDUCACIÓN CIENTÍFICA PARA LA PARTICIPACIÓN CIUDADANA. UNA REVISIÓN CRÍTICA

José Antonio Acevedo ¹, Ángel Vázquez ², Mariano Martín ³, José María Oliva ⁴, Pilar Acevedo ⁵, María Fátima Paixão ⁶ y María Antonia Manassero ²

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

⁽²⁾Universidad de las Islas Baleares – España

⁽³⁾Grupo Argo. IES "Nº 5" de Avilés – España

⁽⁴⁾Centro de Profesorado de Cádiz – España

⁽⁵⁾IES "Ramón Olleros Gregorio" de Béjar (Salamanca) – España

⁽⁶⁾Escola Superior de Educação, Instituto Politécnico de Castelo Branco – Portugal

RESUMEN

La didáctica de las ciencias promueve hoy la presencia explícita de la naturaleza de la ciencia en el currículo de ciencias, aportando diversos motivos para ello. Este artículo se ocupa del argumento democrático relacionado con la participación ciudadana en la toma de decisiones tecnocientíficas en la sociedad civil. Tras una breve exposición sobre la naturaleza de la ciencia desde el punto de vista de la didáctica de las ciencias, se subraya el papel esencial que en la enseñanza de las ciencias debería tener la educación para la participación en las decisiones tecnocientíficas, lo que permitiría dar sentido pleno a la finalidad educativa de la alfabetización científica y tecnológica para todas las personas. A partir de investigaciones procedentes de la propia didáctica de las ciencias, se revisa después la influencia de la comprensión de la naturaleza de la ciencia en las decisiones tecnocientíficas, concluyéndose que otros factores pueden afectar tanto o más que ella, lo que hace mucho más compleja la cuestión planteada. Por último, se reflexiona sobre la naturaleza de la ciencia y la educación científica.

Palabras clave: *naturaleza de la ciencia, educación científica, decisiones tecnocientíficas, participación ciudadana, movimiento CTS.*

"El problema de la enseñanza tradicional de las ciencias no es lo que enseña sobre la ciencia, sino lo que no enseña."
(Ziman, 1978)

INTRODUCCIÓN

Probablemente haya hoy profesores de ciencias que estén dispuestos a introducir en sus clases los escenarios histórico y social en el que se han gestado los conocimientos científicos que abordan en sus aulas (Esteban, 2003; Fernández, 1997; Irwin, 2000; Matthews, 1994; Paixão y Cachapuz, 2000; Solbes y Traver, 1996, 2001). A algunos quizás también les parezca ineludible relacionar los conocimientos científicos con el contexto tecnológico y sus correspondientes desarrollos e innovaciones (Acevedo, 1995, 1996b; Cajas, 1999, 2001; Martins, 2003; Valdés et al., 2002), dando así

entrada en el currículo de ciencias al olvidado papel de la tecnología (Acevedo y Vázquez, 2003; Acevedo *et al.*, 2003; Fernández *et al.*, 2003; Maiztegui *et al.*, 2002). Otros aún más innovadores, verán incluso la necesidad de conectar los conocimientos científicos escolares con las controversias sociales y medioambientales del presente (Bingle y Gaskell, 1994; Cross y Price, 2002; Kolstø, 2001; Zeidler, 1984) y los principales problemas que tiene la humanidad para un futuro más sostenible (Edwards *et al.*, 2002, 2004; Gil *et al.*, 2000, 2003; Gil, Vilches y González, 2002; Vilches y Gil, 2003). Todos éstos y muchos más son elementos educativos de gran relieve que el enfoque Ciencia, Tecnología y Sociedad –CTS en adelante– ha potenciado para la mejora de la enseñanza de las ciencias y su innovación (Acevedo, 1996a); aportaciones a las que algunos autores prefieren denominar la dimensión CTS del currículo de ciencias (Solbes, Vilches y Gil, 2002).

Siendo muy importantes todas estas contribuciones del enfoque CTS, sin embargo, muchas veces corren el riesgo de quedar reducidas a una pequeña parcela de la educación científica –en la mayoría de los casos solamente anecdótica– pues, como advierten Martín y Osorio (2003, p. 175), “[...] *Por desgracia, esta dimensión CTS suele tener sólo un papel adjetivo y marginal frente a los contenidos sustantivos tradicionales de los currículos de ciencias y tecnologías*”. Dotar de rango sustantivo a la dimensión CTS –elevantarla de anécdota a categoría– sería, sin duda, un gran avance, pero todavía habría que dar un paso más, pues la esencia del papel de CTS en la educación científica está sobre todo en educar para la participación cívica en las decisiones tecnocientíficas (Acevedo, Vázquez y Manassero, 2002; Martín, 2003, 2004), una finalidad educativa clave de la enseñanza de las ciencias que da sentido pleno al lema de alfabetización científica y tecnológica para todas las personas y, a la vez, potencia las actitudes democráticas (Acevedo, 2004; Lee y Roth, 2002; Martín, 2004; Martín y Osorio, 2003; Roth y Lee, 2004).

Por otra parte, muchos especialistas en didáctica de las ciencias sostienen que, para conseguir esta participación ciudadana, resulta necesaria la inclusión de la naturaleza de la ciencia –NdC en adelante– en el currículo de ciencias (Driver *et al.*, 1996; McComas, Clough y Almazroa, 1998; Spector, Strong y Laporta, 1998). No es ésta la única razón posible para motivar la presencia curricular de la NdC, pero, según manifiestan esos expertos, una mejor comprensión de la NdC permitirá tomar decisiones más razonadas sobre cuestiones públicas tecnocientíficas, lo que contribuirá probablemente a hacer más factible la participación ciudadana responsable en estos asuntos. Comencemos, pues, pasando revista a la NdC desde la óptica de la didáctica de las ciencias.

NATURALEZA DE LA CIENCIA DESDE LA PERSPECTIVA DE LA DIDÁCTICA DE LAS CIENCIAS

De manera habitual, los currículos de ciencias se han centrado sobre todo en los contenidos conceptuales que se rigen por la lógica interna de la ciencia y han olvidado la formación sobre la ciencia misma; esto es, sobre qué es la ciencia, su funcionamiento interno y externo, cómo se construye y desarrolla el conocimiento que produce, los métodos que usa para validar este conocimiento, los valores implicados

en las actividades científicas, la naturaleza de la comunidad científica, los vínculos con la tecnología, las relaciones de la sociedad con el sistema tecnocientífico y, viceversa, las aportaciones de éste a la cultura y al progreso de la sociedad. Todos estos aspectos constituyen *grosso modo* la mayor parte de lo que se conoce como NdC, entendida ésta en un sentido amplio y no exclusivamente reducido a lo epistemológico (Manassero, Vázquez y Acevedo, 2004; Vázquez, Acevedo y Manassero, 2004; Vázquez *et al.*, 2004). No obstante, cada vez es mayor el consenso en didáctica de las ciencias acerca de que un objetivo prioritario de la educación científica es que los estudiantes de educación secundaria y bachillerato lleguen a adquirir una mejor comprensión de la NdC, la cual se considera ya una parte esencial de la educación científica que debería ser irrenunciable y sustantiva en cualquier curso de ciencias (Matthews, 1998b; McComas, Clough y Almazroa, 1998; Ziman, 2000). En esta línea, diversos países incluyen hoy explícitamente contenidos de NdC en sus currículos de ciencias (McComas y Olson, 1998) y otros lo hacen de forma más o menos implícita.

Este objetivo de la enseñanza de las ciencias tiene bastante más antigüedad de lo que podría parecer, pero lo cierto es que casi siempre se ha incumplido en la práctica, por lo que tiende a renovarse periódicamente y las razones que se dan para implantarlo suelen cambiar a lo largo del tiempo (Lederman, 1992). Así, se han aportado distintos argumentos para justificar la importancia de la NdC en el currículo de ciencias, tales como utilitarios, democráticos, culturales, axiológicos y relacionados con la enseñanza y el aprendizaje de los conceptos científicos (Driver *et al.*, 1996), habiendo aparecido en los últimos lustros como uno de los componentes esenciales de la alfabetización científica y tecnológica para todas las personas (Bybee, 1997; Reid y Hodson, 1989) y del enfoque CTS de la enseñanza de las ciencias (Acevedo, Vázquez y Manassero, 2002; Spector, Strong y Laporta, 1998).

La NdC es un metaconocimiento sobre la ciencia, que proviene de los análisis interdisciplinares hechos por especialistas en historia, filosofía y sociología de la ciencia, pero también por algunos científicos. Estas reflexiones son tan amplias y ricas en matices que es imposible pretender resumirlas en unas pocas líneas, pues la NdC presenta muchas caras. Como metaconocimiento, podría parecer que su inclusión en la enseñanza de las ciencias es un objetivo poco razonable pues, por su complejidad, la comprensión de la NdC podría quedar fuera del alcance de gran parte del alumnado, en particular en los primeros niveles educativos. Ahora bien, como se verá luego, esto no debería suponer la renuncia al objetivo de que los alumnos comprendan algo de NdC, siendo también deseable que sean capaces de diferenciar las características que hacen una cuestión más o menos científica (Smith y Scharmann, 1999).

Otra importante dificultad señalada para la inclusión de la NdC en el currículo de ciencias es que los propios filósofos y sociólogos de la ciencia tienen grandes desacuerdos sobre los principios básicos de ésta (Alters, 1997; Vázquez *et al.*, 2001), debido al carácter dialéctico y controvertido de los asuntos puestos en juego y en parte a la mayor tendencia a la polémica de esos profesionales. Además, algunos de sus puntos de vista divergen mucho de los que se sostienen desde la propia ciencia o por la mayor parte del profesorado de ciencias, sea de universidad o de secundaria (Abd-El-Kalick, Bell y Lederman, 1998); recuérdese si no la denominada “guerra de

las ciencias” como virulenta reacción de muchos científicos a ciertos excesos de los relativistas y social-constructivistas postmodernos más radicales (Sokal y Bricmont, 1998; Wolpert, 1992). Sin embargo, la mayoría de estas discrepancias suelen referirse a cuestiones demasiado abstractas como para tener gran repercusión en la vida cotidiana de los estudiantes y de la ciudadanía (Abd-El-Khalick y BouJaoude, 1997), por lo que no parece muy adecuado pretender reproducir en la escuela este tipo de reflexión metacognitiva, ni tampoco entrar a fondo en los complejos problemas epistemológicos que aún están pendientes de resolución. El objetivo no debería centrarse tanto en la filosofía o la sociología de la ciencia, como si se tratase de formar a los estudiantes para llegar a ser especialistas en estos campos del conocimiento (Smith y Scharmann, 1999), sino más bien ayudarles a comprender mejor cómo funcionan la ciencia y la tecnología contemporáneas.

Desde esta última perspectiva, sería deseable conseguir un consenso sobre ciertos aspectos de NdC (Abd-El-Khalick, Bell y Lederman, 1998; Eflin, Glennan y Reisch, 1999; Manassero, Vázquez y Acevedo, 2004; McComas y Olson, 1998; Osborne *et al.*, 2003; Smith *et al.*, 1997; Vázquez, Acevedo y Manassero, 2004; Vázquez *et al.*, 2004), que permita afrontar el conocimiento de los alumnos sobre la NdC como un medio para aprender ciencia y acerca de la ciencia (Hogan, 2000). Este consenso podría servir como punto de partida para establecer contenidos relativamente modestos (Matthews, 1998a), adaptados al nivel evolutivo de los estudiantes y ajustados a los requerimientos de una enseñanza de las ciencias para la alfabetización científica y tecnológica de todas las personas, que, a la vez, sea capaz de facilitar su participación activa en la sociedad civil. En cualquier caso, no puede olvidarse que, del mismo modo que los contenidos científicos deben someterse a un proceso de transformación didáctica para convertirse en conocimiento escolar, también habrá que reelaborar adecuadamente los contenidos relativos a la NdC antes de incorporarlos en el aula de ciencias (Vázquez, Acevedo y Manassero, 2004).

Con estos supuestos, los métodos para enseñar NdC se están mostrando parcialmente eficaces en los últimos años cuando encaran algunos de sus aspectos básicos de modo explícito y reflexivo; esto es, si se hace con una buena planificación, desarrollando los contenidos en actividades variadas y evaluando los procesos llevados a cabo y los logros conseguidos (Abd-El-Khalick y Lederman, 2000). Se ha informado al respecto de resultados moderadamente positivos cuando se usan actividades basadas en la investigación científica, en la filosofía y la historia de la ciencia, contextualizadas con un enfoque CTS y capaces de conectar con el mundo real y cotidiano de los estudiantes. Así mismo, se han llevado a la práctica proyectos expresamente diseñados para mejorar la comprensión de la NdC que ponen su acento en los procesos sociales de la construcción del conocimiento científico y en la resolución de controversias científicas (Kolstø, 2000; Cachapuz y Paixão, 2002; Kolstø y Mestad, 2003). Estas líneas de trabajo han puesto en cuestión la posición de aquellos expertos en didáctica de las ciencias que sostienen que la enseñanza implícita de la NdC, basada sobre todo en la práctica de procedimientos de la ciencia y otros contenidos indirectos, permite alcanzar una buena comprensión de la NdC.

Los párrafos anteriores dejan bien claro la atención preferente que viene prestando la didáctica de las ciencias a la NdC y a su papel en la reforma de la enseñanza de las ciencias. Pasemos a ocuparnos ahora de la educación para intervenir en las decisiones tecnocientíficas, un asunto al que la didáctica de las ciencias ha prestado mucha menos atención hasta hace relativamente poco tiempo (Jenkins, 1999, 2002; Roth y Désautels, 2002), como consecuencia quizás de que, en el ámbito educativo, se tiende a promover más los planteamientos analíticos y discursivos que los auténticamente participativos.

EDUCACIÓN PARA PARTICIPAR EN LAS DECISIONES TECNOCIENTÍFICAS

Hace bastante tiempo que se sabe que la ciencia no se limita a hacer representaciones de lo que se piensa sobre el mundo natural, sino que también pretende intervenir en él para transformarlo artificialmente (Hacking, 1983). Y, si esto ha sido así desde su nacimiento, aún lo es más en el presente, en una época en la que es dominante la tecnociencia¹ contemporánea (Acevedo, 1997; Echeverría, 2003). De modo análogo, la enseñanza de las ciencias tampoco debería limitarse a educar para conocer y comprender mejor los mundos natural y artificial, sino que se debe educar sobre todo para que las personas puedan intervenir en la sociedad civil (Jenkins, 1999).

La educación científica tiene que contribuir hoy a *conocer, manejar y participar* (Martín y Osorio, 2003). Esto es, debe proporcionar conocimientos para comprender mejor los mundos natural y artificial por medio de la indagación, destrezas y habilidades que son imprescindibles como procedimientos específicos para poder desenvolverse mejor en la vida cotidiana y, asimismo, capacidades para poder participar en las decisiones tecnocientíficas que afectan a la ciudadanía y contribuyen a cambiar el mundo. Tres elementos educativos que, junto a la educación para *valorar* –la educación en valores– reflexionando sobre las diversas opciones posibles (Acevedo, 1996a; Martín, Osorio y López-Cerezo, 2001; Waks, 1996), configuran la enseñanza de las ciencias desde un enfoque CTS humanístico que contribuye a la alfabetización científica y tecnológica de todas las personas. No obstante, siendo esenciales todos ellos conviene subrayar que:

“Una educación tecnocientífica que permita a los individuos conocer los procesos y manejar los artefactos del mundo que les rodea no formará realmente ciudadanos capaces de participar en democracia si no integra, además de los conocimientos para analizar la realidad y las destrezas para manejarse en ella, estrategias para el desarrollo de aptitudes y actitudes participativas y abiertas al diálogo, la negociación y la toma de decisiones en relación con los problemas asociados al desarrollo científico y tecnológico.”

(Martín y Osorio, 2003, p. 175)

En una auténtica democracia, no basta sólo con que los ciudadanos sepan analizar las informaciones y sean críticos a la hora de elegir una opción, sino que deben intervenir

¹ De manera general, hoy día se habla de tecnociencia o complejo científico-tecnológico para designar el conjunto de actividades de investigación, desarrollo e innovación (I+D+I) en las que ciencia y tecnología están intensamente imbricadas y se refuerzan mutuamente para conseguir un beneficio mutuo, tanto en sus procedimientos como en sus resultados. Aunque este término tiene su origen en los estudios CTS (Latour, 1987), en la actualidad está muy difundido en otros ámbitos diversos. La tecnociencia ha transformado profundamente la estructura de la práctica científica-tecnológica y, sobre todo, ha incorporado nuevos valores a la actividad científica, incidiendo profundamente de este modo en su axiología (Echeverría, 2003).

activamente en las decisiones que les afectan. Por tanto, más allá de la incorporación de una dimensión CTS añadida a la enseñanza de las ciencias, es justamente la participación de la ciudadanía en las decisiones sociales tecnocientíficas lo que el enfoque propio del movimiento CTS reivindica como principal finalidad para la educación científica (Acevedo, 2004; Acevedo, Vázquez y Manassero, 2002; Martín, 2004). Hoy, más que nunca, es urgente la necesidad de formar ciudadanos capaces de intervenir más y mejor en las decisiones concernientes a la ciencia y la tecnología contemporáneas, desde las relativas a las cuestiones más generales, como puede ser la orientación y el control democrático de las prioridades en la investigación científica y el desarrollo tecnológico, hasta las más próximas y cotidianas, como las relacionadas con las numerosas controversias tecnocientíficas y medioambientales que surgen en la sociedad, o con las decisiones personales que, por ejemplo, se toman respecto a la salud o al consumo. De esta forma, probablemente los ciudadanos así educados se interesarán mucho más por la comprensión pública de la ciencia y la difusión de la cultura científica y quizás entonces la alfabetización científico y tecnológica podrá llegar de verdad a todas las personas (Acevedo, Vázquez y Manassero, 2003).

Ahora bien, si en la sociedad se dan controversias sobre cuestiones tecnocientíficas en las que están implicados grupos sociales con diversos intereses y valores, unas veces enfrentados y en otras ocasiones aliados, será necesario preparar al alumnado para intervenir en esas controversias y en las correspondientes decisiones que tendrán que tomar en el futuro como ciudadanos (Désautels y Larochelle, 2003; Roth y Désautels, 2002, 2004). Puesto que a participar sólo puede aprenderse participando, más allá de los discursos retóricos frecuentes en las introducciones de los currículos normativos de ciencias, ya se dispone en España de algunos materiales curriculares para trabajar en el aula con una metodología adecuada la participación ciudadana responsable en las decisiones tecnocientíficas que afectan a la sociedad (Camacho, González y Martín, 2004; Martín, 2001, 2003, 2004, 2005; Martín y Osorio, 2003).

En definitiva, las capacidades necesarias para intervenir en la toma de decisiones tecnocientíficas pueden y deben ser educadas. De hecho, no hay que olvidar que éste es uno de los objetivos de muchos currículos de ciencias en distintos países, el cual puede venir formulado explícitamente de diversas maneras, haciendo referencia al papel de la ciencia y la tecnología en las decisiones que se toman en la comunidad (Lee y Roth, 2002; Roth y Lee, 2004), en el trabajo, el hogar, el ocio, etc. Además, es en el desarrollo de estas capacidades donde se manifiesta con más intensidad la relación entre la enseñanza de las ciencias y la educación en valores, algo que reivindica con gran vigor el movimiento CTS (Acevedo, 1996a; Martín, Osorio y López-Cerezo, 2001; Waks, 1996).

La investigación en didáctica de las ciencias está prestando ahora un poco más de atención a la participación ciudadana en las decisiones tecnocientíficas de interés social, dedicándose a esta temática sesiones específicas en algunos congresos internacionales promovidos por asociaciones profesionales de gran prestigio como la *European Science Education Research Association* –ESERA– y las norteamericanas *Association for the Education of Teachers in Science* –AETS– y la *National Association for Research in Science Teaching* –NARST–. Además, como se ha apuntado en la

introducción, la didáctica de las ciencias sostiene cada vez más que la enseñanza de la NdC es un elemento sustantivo e irrenunciable de la alfabetización científica y tecnológica para todas las personas, apelando los expertos para ello al argumento democrático de la participación ciudadana en las decisiones tecnocientíficas de interés social (Driver *et al.*, 1996; Sadler, 2004). Abd-El-Khalick (2001) ha sugerido al respecto que las decisiones de los estudiantes en los asuntos sociocientíficos serían análogas a las que tienen que tomar los científicos para justificar el conocimiento que generan. Según este autor, en ambos casos se requiere un discurso racional y, al mismo tiempo, sentido común y capacidad para valorar los argumentos; esto es, capacidades que serían propias de un razonamiento más crítico (Tenreiro-Vieira, 2000; Tenreiro-Vieira y Vieira, 2001).

Pero, ¿es realmente el conocimiento de la NdC un factor determinante a la hora de tomar este tipo de decisiones? Veamos lo que muestran los resultados de algunas investigaciones internacionales realizadas en la didáctica de las ciencias.

INVESTIGACIONES SOBRE EL PAPEL DE LA NATURALEZA DE LA CIENCIA EN LA TOMA DE DECISIONES TECNOCIENTÍFICAS CON INTERÉS SOCIAL

Los proyectos y materiales curriculares de ciencias dirigidos a educar la participación pública en las decisiones tecnocientíficas como elemento sustancial de la alfabetización científica y tecnológica de todas las personas implican, entre otras muchas cosas más, la comprensión de información científica procedente de diversas fuentes; por ejemplo, artículos de periódicos, revistas, Internet, etc. Es importante, pues, saber qué tipo de conocimiento hace falta para analizar críticamente los argumentos provenientes de esas fuentes. En esta línea, una investigación con estudiantes universitarios llevada a cabo por Kolstø *et al.* (2004), ha mostrado la insuficiencia de los conocimientos científicos en la resolución de las cuestiones tecnocientíficas planteadas. Aunque éstos sean necesarios (Sadler y Zeidler, 2005b), también es esencial el conocimiento de normas metodológicas, procesos sociales y aspectos institucionales de la ciencia, que son elementos básicos de la NdC cuando ésta se considera en un sentido amplio (Manassero, Vázquez y Acevedo, 2004; Vázquez, Acevedo y Manassero, 2004; Vázquez *et al.*, 2004).

En una revisión del estado actual de la investigación sobre el razonamiento informal en las decisiones sociocientíficas, Sadler (2004) considera los siguientes aspectos:

- (i) El papel de la argumentación en los razonamientos.
- (ii) La relación entre los conocimientos sobre naturaleza de la ciencia y la toma de decisiones sociocientíficas.
- (iii) La evaluación de información relativa a los asuntos sociocientíficos, incluyendo la comprensión de lo que tiene valor como prueba.
- (iv) La influencia de la comprensión de los conceptos involucrados en el tema.

Estos cuatro grupos de cuestiones proporcionan un esquema bastante adecuado para discutir las implicaciones de esta temática en futuras investigaciones, en el diseño y en su puesta en práctica en el currículo de ciencias. Sin embargo, para los propósitos

de este artículo, interesa centrarse sólo en el segundo de ellos; esto es, en la influencia de los conocimientos de NdC en las decisiones sociocientíficas.

En esa misma revisión, Sadler (2004) cita dos artículos que informan de sendas investigaciones con estudiantes de secundaria y universidad (Sadler, Chambers y Zeidler, 2004; Zeidler *et al.*, 2002), las cuales parecen aportar resultados favorables a la hipótesis de la influencia de la comprensión de algunos elementos relativamente sencillos de NdC en los razonamientos que hacen los estudiantes para tomar sus decisiones en este tipo de cuestiones. En ambos trabajos se alude a la importancia de las pruebas empíricas y a la influencia de los factores culturales y sociales, que son dos aspectos concretos de la NdC. No obstante, Sadler (2004) también cita un artículo de Bell y Lederman (2003) que aporta resultados claramente contrarios a la influencia de la NdC en las decisiones sociocientíficas.

En efecto, Bell y Lederman (2003) estudiaron el papel de las creencias sobre la NdC de una muestra de profesores de universidad, así como las estrategias, razonamientos y factores involucrados en las decisiones sobre asuntos tecnocientíficos problemáticos. Para ello, clasificaron primero como adecuada o inadecuada la comprensión de la NdC de esos profesores mediante la aplicación del *Views of Nature of Science (VNOS-B) Questionnaire* (Lederman *et al.*, 2002)². Una vez clasificados, los profesores se enfrentaron después a las cuestiones tecnocientíficas propuestas en esa investigación. El principal resultado obtenido fue que los diversos puntos de vista sobre NdC no eran un factor crucial para la toma de decisiones, pues su papel fue nulo para la mayoría de los profesores de la muestra e insignificante para los demás. El procedimiento seguido por los participantes para tomar sus decisiones fue bastante similar en la mayoría de los casos, independientemente de que sus creencias sobre NdC fueran más o menos adecuadas. Aunque hubo pequeñas diferencias en los razonamientos empleados, sus consecuencias fueron bastante escasas, porque las decisiones no fueron muy distintas unas de otras. Para llegar a conclusiones tan parecidas, probablemente los profesores se basaron en otros aspectos distintos a sus creencias sobre NdC.

Una interpretación drástica de este resultado podría llevar a la conclusión de que el conocimiento de aspectos importantes de NdC ni siquiera sería condición necesaria para tomar decisiones con más racionalidad científica en los asuntos tecnocientíficos de interés social; una conclusión que, sin embargo, es matizada por los propios autores del trabajo (Bell y Lederman, 2003), los cuales son convencidos defensores de la inclusión explícita de la NdC en la enseñanza de las ciencias. De modo consistente con lo sugerido en investigaciones precedentes sobre la toma de decisiones sociocientíficas (Fleming, 1986a,b; Pedretti, 1999; Zeidler y Schafer, 1984), los factores con más repercusión fueron los valores morales y personales, así como los aspectos culturales, sociales y políticos relacionados con las cuestiones planteadas.

² Según los autores del VNOS-B, una buena comprensión de la NdC implica saber que el conocimiento científico (i) es provisional, (ii) se apoya en pruebas empíricas derivadas de observaciones del mundo natural, (iii) es en parte subjetivo porque está cargado de teorías, (iv) se basa parcialmente en inferencias, imaginación y creatividad, (v) está incrustado en la cultura y la sociedad, así como conocer que (vi) leyes y teorías científicas tienen distinto *status* epistemológico. Estos rasgos de la NdC también se asumen en los principales documentos que fundamentan la reforma de la enseñanza de las ciencias de los EE.UU., tales como el *Project 2061: Science for All Americans* (AAAS, 1989, 1993) y los *National Science Education Standards* (NRC, 1996).

Para resolver los resultados contradictorios entre las tres investigaciones citadas en su revisión, Sadler (2004) apunta la hipótesis de que quizás la comprensión de algunas ideas muy básicas sobre NdC influye en los razonamientos para tomar decisiones tecnocientíficas, mientras que discrepancias en aspectos epistemológicos de mayor nivel filosófico podrían afectar mucho menos a estos razonamientos; una hipótesis que habría que comprobar, pero que está en sintonía con la sugerencia de un consenso sobre objetivos sencillos y relativamente modestos respecto a la inclusión de la NdC en el currículo de ciencias (Matthews, 1998a).

En cambio, los demás resultados de la investigación de Bell y Lederman (2003) no deberían sorprender demasiado. En efecto, como se acaba de mencionar, hace mucho tiempo que un trabajo de Zeidler y Schafer (1984) proporcionó datos empíricos que sacaron a la luz la importancia de los aspectos morales y emotivos en la resolución de asuntos sociocientíficos. Así mismo, en una reciente investigación con estudiantes universitarios, Sadler y Zeidler (2004) han mostrado que consideraciones morales, sentimientos y emociones tienen gran repercusión en las decisiones que se toman en cuestiones relacionadas con la ingeniería genética, aunque también afloran otros factores influyentes, como falta de información sobre el tema planteado, experiencias personales, creencias religiosas, impacto familiar y cultura popular.

En suma, si bien la comprensión de algunos elementos básicos de NdC pudiera ser necesaria para tomar mejores decisiones sociocientíficas (Sadler, 2004), éste no sería el único aspecto, ni siquiera el más importante de los que intervienen en la resolución de estas complejas cuestiones. La figura 1 resume los principales factores que hasta ahora ha considerado la investigación de didáctica de las ciencias en este campo, los cuales se han agrupados de la siguiente manera:

- (i) Conocimientos del tema planteado y de NdC.
- (ii) Razonamiento moral. Valores y normas.
- (iii) Emociones y sentimientos.
- (iv) Creencias culturales, sociales y políticas.

Por otro lado, según Hogan (2000), cuando una estructura cognitiva está fuertemente asociada con el ámbito afectivo y con la identidad personal, incluye, además, una dimensión valorativa y se relaciona con algún tipo de acción a realizar, entonces los razonamientos se basan más en creencias –compromisos o posiciones particulares– que en conocimientos propiamente dichos. Esto es lo que ocurre, por ejemplo, cuando se tienen que tomar decisiones tecnocientíficas individuales o sociales. Por tal motivo, pese a que este autor valora la enseñanza de la NdC, también considera de gran interés la influencia de aspectos como el contexto, las emociones y motivaciones, las creencias de diverso tipo, así como las disposiciones y comportamientos personales, en un sentido muy similar al de los factores indicados más arriba.

En consecuencia, parece necesario prestar mucha más atención de lo que es habitual en la educación científica a los aspectos culturales, sociales, morales y emotivos (Sadler y Zeidler, 2005a; Zeidler, Sadler y Simmons, 2003) y a los actitudinales y axiológicos, tal y como vienen reclamando desde hace tiempo el movimiento CTS para

la enseñanza de las ciencias (Acevedo *et al.*, 2004). Por este motivo, hay que dar la bienvenida al hecho de que, en el año 2006, el diseño del proyecto PISA³ vaya a incluir como principal novedad la evaluación de los aprendizajes actitudinales como un elemento más del currículo de ciencias. Ello supone una importante innovación, que quizás favorezca en un futuro próximo la educación explícita de las actitudes en la enseñanza de las ciencias (Fensham, 2004).

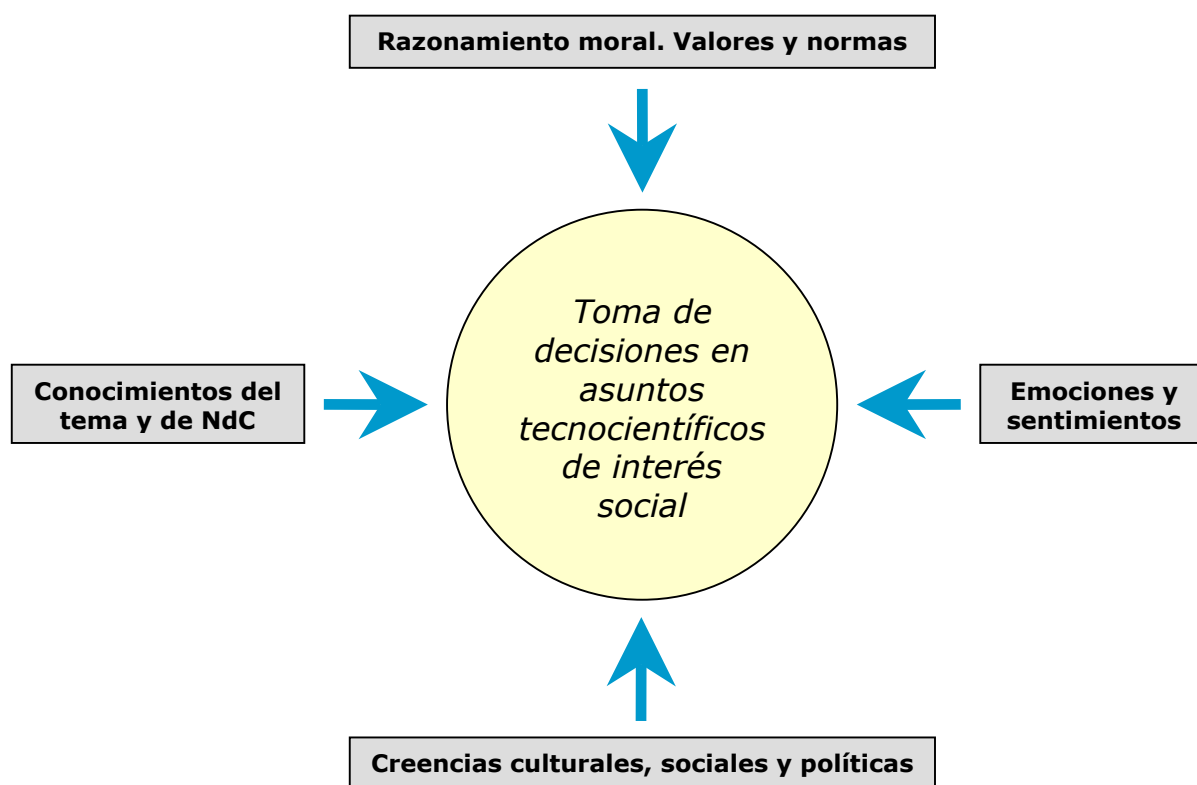


Figura 1.- Factores que influyen en la toma de decisiones en asuntos tecnocientíficos de interés social.

La importancia señalada de los valores, las emociones, los sentimientos y las diversas creencias –culturales, sociales y políticas– se sitúa, sin duda, en las antípodas de los postulados básicos del positivismo lógico. Esta filosofía de la ciencia está implícita en muchos libros de texto de ciencias y en el pensamiento de gran parte del profesorado de ciencias, por lo que aún es dominante en la enseñanza de las ciencias. Para esta tradición filosófica, el conocimiento científico se construye desde la objetividad y la racionalidad a partir de hechos empíricos y excluye las influencias axiológicas, emotivas, culturales, sociales y políticas. Por tanto, será prácticamente imposible educar para la participación ciudadana desde la visión de la NdC que proporciona esta

³ PISA es el acrónimo con el cual se conoce el *Programme for International Student Assessment*, un proyecto de evaluación internacional de los aprendizajes escolares promovido por la *OECD –Organization for Economic Cooperation and Development–* (Harlen, 2001, 2002; MEC, 2004; OECD, 1999, 2000, 2001, 2004a,b). Las diversas aplicaciones del PISA se centran en el concepto de alfabetización lectora (año 2000), matemática (año 2003) y científica (año 2006). Aunque en todas las ocasiones siempre están presentes cuestiones de los tres tipos de alfabetización, en cada caso se pone el acento en una de ellas, a la que se dedica dos tercios de la evaluación.

corriente filosófica. Así pues, parece necesario alcanzar un consenso sobre un modelo de NdC abierto a la consideración de esos otros aspectos excluidos; un modelo quizás relativamente sencillo, pero que permita superar el ideal positivista y justificar la intervención de los factores no epistémicos en la construcción del conocimiento científico y en la resolución de las controversias tecnocientíficas (Manassero, Vázquez y Acevedo, 2004; Vázquez, Acevedo y Manassero, 2004; Vázquez *et al.*, 2004).

REFLEXIONES FINALES

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

La ciencia escolar suele transmitir una imagen de la ciencia académica del pasado –la que ha producido los conceptos que se incluyen en el currículo–, pero no de la ciencia, la macrociencia⁴ –*big science*– y la tecnociencia contemporáneas, que son las que se hacen hoy en los laboratorios de diversas instituciones públicas, como universidades, hospitales, fundaciones, ejército..., y de empresas privadas, tales como industrias, corporaciones farmacéuticas... Así mismo, es fácil comprobar en la bibliografía internacional que la didáctica de las ciencias presta atención casi exclusiva a los rasgos epistemológicos que son característicos de la ciencia académica, sin tener en cuenta que, desde el último cuarto del siglo XX, buena parte de la ciencia es tecnociencia y su naturaleza no responde a los mismos patrones ni, por supuesto, a la misma axiología (Acevedo, 1997; Echeverría, 2003).

En cierto modo puede decirse que se está reproduciendo en la didáctica de las ciencias una situación similar a la que sucedió en los años 50, 60 y 70, cuando los filósofos de la ciencia basaban sus conclusiones sobre la NdC en casos históricos del pasado, incluyendo entre estos pensadores no sólo a los positivistas lógicos, sino a otros como

⁴ En una primera aproximación, un proyecto puede considerarse macrocientífico cuando su realización requiere una parte significativa del producto interior bruto (PIB) de un país. Este criterio económico para distinguir la macrociencia de la ciencia académica fue introducido por Alvin W. Weimberg en 1961 y se usó como un estándar en los EE.UU. Posteriormente, en un Simposio organizado por la Universidad de Stanford en 1988, Bruce Hevly caracterizó la macrociencia por: (i) la concentración de recursos humanos y materiales en un número muy limitado de centros de investigación, (ii) la especialización del trabajo en los laboratorios y (iii) el desarrollo de proyectos científicos con relevancia política y social, que contribuyen a incrementar el poder militar, el potencial industrial, la salud o el prestigio nacional. Otros rasgos de la macrociencia señalados en ese mismo Simposio fueron: (iv) la interacción entre científicos, ingenieros, industriales y militares, (v) la politización y burocratización de la ciencia y la tecnología, (vi) la pérdida de autonomía de la ciencia, (vii) el alto riesgo de los impactos de la macrociencia... La macrociencia es una modalidad de la ciencia característica del siglo XX y su aparición supuso un profundo cambio en la práctica científica, lo que la hace muy diferente de la ciencia realizada en los siglos anteriores (Echeverría, 2003). El Proyecto Manhattan para la fabricación de las primeras bombas atómicas en Los Álamos es un caso paradigmático de proyecto macrocientífico militarizado. Otros ejemplos de proyectos macrocientíficos son el ENIAC de la Moore School de Pennsylvania para construir la primera computadora electrónica, el proyecto Hubble de la NASA para la construcción del famoso telescopio espacial, etc. Se pueden consultar más proyectos macrocientíficos en los libros de Sánchez-Ron (1992) y de Echevarría (2003).

Popper, Kuhn, Feyerabend, Lakatos, Laudan y demás miembros englobados en la que entonces se denominó "*nueva filosofía de la ciencia*", que ahora es antigua. Esos debates se hicieron sin tener presente que desde la segunda guerra mundial, si no antes, la macrociencia, asociada al ejército, las grandes industrias, instituciones gubernamentales y fundaciones, ya compartía espacio desde años atrás con la ciencia académica (Echeverría, 2003). Después, poco a poco, fue surgiendo la tecnociencia, que no es del todo idéntica a la macrociencia, aunque a veces se confundan⁵. Estos hechos no suelen tenerse en cuenta en la inmensa mayoría de los estudios sobre NdC que se desarrollan en didáctica de las ciencias.

Sin duda, actualmente aún hay mucha ciencia que no es macrociencia ni tecnociencia, del mismo modo que hay tecnología que no es alta tecnología *-high technology-* ni tecnociencia, y ahí están todas ellas conviviendo en el presente. Sin embargo, la complejidad y el carácter poliédrico de la tecnociencia contemporánea es una dificultad más para la enseñanza de contenidos de NdC, que se añade a otras, como puede ser la necesidad de consenso sobre la NdC. En consecuencia, sería bastante ingenuo pensar hoy en la existencia de una sola NdC, por lo que cualquier descripción de ésta sólo puede aspirar a reflejar de manera parcial y sesgada la ciencia y la tecnociencia del presente.

La didáctica de las ciencias tiene aún pendiente un debate serio en torno a preguntas como las siguientes: ¿a qué tipo de ciencia nos referimos cuando hablamos de NdC?, ¿cuál es la NdC que se quiere transmitir?, ¿qué consensos sobre NdC pueden ser más válidos?, ¿cómo preparar al profesorado de ciencias para que sea capaz de diseñar actividades relacionadas con una NdC más adecuada y las ponga en práctica en el aula de manera explícita? y, sobre todo, ¿para qué queremos enseñar NdC? En particular, respecto a esta última cuestión, las propuestas de NdC en la enseñanza de las ciencias podrían resultar bastante estériles sin tener en cuenta las finalidades de la educación científica y las diferentes repuestas que pueden darse relativas a la relevancia de la ciencia escolar (Acevedo, 2004). Así, si lo que se pretende es educar para tomar mejores decisiones cívicas en el mundo actual *-educación para la participación ciudadana en la sociedad civil-*, posiblemente sea más esencial conocer los principales rasgos de la naturaleza de la tecnociencia que los de la ciencia académica, pues la primera afecta hoy a la sociedad mucho más que la segunda. Para decisiones habituales de la vida cotidiana, quizás sea más adecuada la comprensión de la naturaleza correspondiente a la tecnología menos sofisticada. Para satisfacer la curiosidad personal, podría ser más importante el conocimiento de la naturaleza de la ciencia académica... Ciertamente, se echan en falta más discusiones sobre estas

⁵ La tecnociencia propiamente dicha surge en el último cuarto del siglo XX, por evolución de la macrociencia, gracias al impulso de algunas grandes empresas de los EE.UU., expandiéndose luego con rapidez por otros países avanzados. Aunque la tecnociencia tiene rasgos comunes con su precursora *-la macrociencia-*, también presenta algunas diferencias con ella. Así, mientras que en la macrociencia jugó un gran papel la investigación básica, en la tecnociencia destaca sobre todo la instrumentalización del conocimiento científico para cumplir el objetivo prioritario de lograr innovaciones tecnocientíficas comercialmente rentables. Otras características distintivas de la tecnociencia son: (i) el predominio de la financiación privada sobre la pública en las actividades I+D+I, (ii) la menor importancia relativa del tamaño del proyecto y de los equipos e instrumentos, (iii) su carácter multinacional, (iv) la conexión en red de los laboratorios mediante el uso de tecnologías de la información y comunicación (TIC), (v) la pluralidad y diversidad de agentes tecnocientíficos... (Acevedo, 1997; Echeverría, 2003).

cuestiones en la didáctica de las ciencias para intentar delimitar el problema de la transposición didáctica de la NdC a la ciencia escolar.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AAAS (1989). *Science for all Americans*. New York: Oxford University Press.
- AAAS (1993). *Benchmarks for Science Literacy: A project 2061 report*. New York: Oxford University Press.
- ABD-EL-KHALICK, F. (2001). Embedding nature of science instruction in preservice elementary science: Abandoning scientism, but... *Journal of Science Teacher Education*, 12(3), 215-233.
- ABD-EL-KHALICK, F., BELL, R.L. y LEDERMAN, N.G. (1998). The nature of science and instructional practice: Making the unnatural natural. *Science Education*, 82(4), 417-436.
- ABD-EL-KHALICK, F. y BOUJAOUDE, S. (1997). An Exploratory Study of the Knowledge Base for Science Teaching. *Journal of Research in Science Teaching*, 34(7), 673-699.
- ABD-EL-KHALICK, F. y LEDERMAN, N.G. (2000). Improving science teachers' conceptions of nature of science: a critical review of the literature. *International Journal of Science Education*, 22(7), 665-701.
- ACEVEDO, J.A. (1995). Educación tecnológica desde una perspectiva CTS. Una breve revisión del tema. *Alambique*, 3, 75-84. En *Sala de Lecturas CTS+I de la OEI*, 2001, <http://www.campus-oei.org/salactsi/acevedo5.htm>.
- ACEVEDO, J.A. (1996a). Cambiando la práctica docente en la enseñanza de las ciencias a través de CTS. *Borrador*, 13, 26-30. En *Sala de Lecturas CTS+I de la OEI*, 2001, <http://www.campus-oei.org/salactsi/acevedo2.htm>.
- ACEVEDO, J.A. (1996b). La tecnología en las relaciones CTS. Una aproximación al tema. *Enseñanza de las Ciencias*, 14(1), 35-44.
- ACEVEDO, J.A. (1997). ¿Publicar o patentar? Hacia una ciencia cada vez más ligada a la tecnología. *Revista Española de Física*, 11(2), 8-11. En *Sala de Lecturas CTS+I de la OEI*, 2001, <http://www.campus-oei.org/salactsi/acevedo4.htm>.
- ACEVEDO, J.A. (2004). Reflexiones sobre las finalidades de la enseñanza de las ciencias: Educación científica para la ciudadanía. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 1(1), 3-16, <http://www.apac-eureka.org/revista/Larevista.htm>.
- ACEVEDO, J.A., ACEVEDO, P., MANASSERO, M.A., OLIVA, J.M., PAIXÃO, M.F. y VÁZQUEZ, A. (2004). Naturaleza de la ciencia, didáctica de las ciencias, práctica docente y toma de decisiones tecnocientíficas. En I.P. Martins, F. Paixão y R. Vieira (Org.): *Perspectivas Ciência-Tecnologia-Sociedade na Inovação da Educação em Ciência*, pp. 23-30. Aveiro, Portugal: Universidade de Aveiro. En *Sala de Lecturas CTS+I de la OEI*, 2004, <http://www.campus-oei.org/salactsi/acevedo21.htm>.
- ACEVEDO, J.A. y VÁZQUEZ, A. (2003). Editorial del monográfico "Las relaciones entre ciencia y tecnología en la enseñanza de las ciencias". *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 2(3), <http://www.saum.uvigo.es/reec/>.

- ACEVEDO, J.A., VÁZQUEZ, A. y MANASSERO, M.A. (2002). El movimiento Ciencia, Tecnología y Sociedad y la enseñanza de las ciencias. En *Sala de Lecturas CTS+I de la OEI*, <http://www.campus-oei.org/salactsi/acevedo13.htm>. Versión en castellano del capítulo 1 del libro de Manassero, M.A., Vázquez, A. y Acevedo, J.A.: *Avaluació dels temes de ciència, tecnologia i societat*. Palma de Mallorca: Conselleria d'Educació i Cultura del Govern de les Illes Balears, 2001.
- ACEVEDO, J.A., VÁZQUEZ, A. y MANASSERO, M.A. (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), <http://www.saum.uvigo.es/reec/>.
- ACEVEDO, J.A., VÁZQUEZ, A., MANASSERO, M.A. y ACEVEDO, P. (2003). Creencias sobre la tecnología y sus relaciones con la ciencia. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 2(3), <http://www.saum.uvigo.es/reec/>.
- ALTERS, B.J. (1997). Whose Nature of Science? *Journal of Research in Science Teaching*, 34(1), 39-55.
- BELL, R.L. y LEDERMAN, N.G. (2003). Understandings of the nature of science and decision making on science and technology based issues. *Science Education*, 87(3), 352-377.
- BINGLE, W.H. y GASKELL, P.J. (1994). Scientific literacy for decision making and the social construction of scientific knowledge. *Science Education*, 78(2), 185-201.
- BYBEE, R.W. (1997). *Achieving scientific literacy: From purposes to practices*. Portsmouth, NH: Heinemann.
- CACHAPUZ, A. y PAIXÃO, F. (2002). Placing the History and the Philosophy of Science on Teacher Education. En N. Bizzo, C.S. Kawasaki, L. Ferracioli y V.L. Rosa (Eds.): *Rethinking Science and Technology Education to meet the demands for future generations in a changing world*. International Organization for Science and Technology Education (IOSTE) Xth Symposium Proceeding, Vol. 1, pp. 10-19. Foz do Iguaçu, Paraná, Brasil.
- CAJAS, F. (1999). Public Understanding of Science: Using technology to Enhance School Science in Everyday Life. *International Journal of Science Education*, 21(7), 765-773.
- CAJAS, F. (2001). Alfabetización científica y tecnológica. La transposición didáctica del conocimiento tecnológico. *Enseñanza de las Ciencias*, 19(2), 243-254.
- CAMACHO, A., GONZÁLEZ J.C. y MARTÍN, M. (2004). Las simulaciones CTS; los casos simulados como materiales para experiencias didácticas participativas. En I.P. Martins, F. Paixão y R. Vieira (Org.): *Perspectivas Ciência-Tecnologia-Sociedade na Inovação da Educação em Ciência*, pp. 271-275. Aveiro, Portugal: Universidade de Aveiro.
- CROSS R.T. y PRICE R.F. (2002). Teaching controversial science for social responsibility: The case of food production. En W.M. Roth y J. Désautels (Eds.): *Science education as/for sociopolitical action*, pp. 99-123. New York: Peter Lang.
- DÉSAUTELS, J. y LAROCHELLE, M. (2003). Educación científica: el regreso del ciudadano y de la ciudadana. *Enseñanza de las Ciencias*, 21(1), 3-20.
- DRIVER, R., LEACH, J., MILLAR, R. y SCOTT, P. (1996). *Young People's Images of Science*. Buckingham, UK: Open University Press.

- ECHEVERRÍA, J. (2003). *La revolución tecnocientífica*. Madrid: FCE.
- EDWARDS, M., GIL, D., VILCHES, A. y PRAIA, J. (2004). La atención a la situación del mundo en la educación científica. *Enseñanza de las Ciencias*, 22(1), 47-64.
- EDWARDS, M., GIL, D., VILCHES, A., VALDÉS, P., VITAL, M.L., ASTABURUAGA, R. y ROMERO, X. (2002). El desafío de preservar el planeta: Un llamamiento a todos los educadores. *Revista Iberoamericana de Ciencia, Tecnología, Sociedad e Innovación*, 2, <http://www.campus-oei.org/revistactsi/numero2/varios3.htm>.
- EFLIN, J.T., GLENNAN, S. y REISCH, R. (1999). The Nature of Science: A Perspective from the Philosophy of Science. *Journal of Research in Science Teaching*, 36(1), 107-116.
- ESTEBAN, S. (2003). La perspectiva histórica de las relaciones Ciencia-Tecnología-Sociedad y su papel en la enseñanza de las ciencias. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 2(3), <http://www.saum.uvigo.es/reec/>.
- FENSHAM, P.J. (2004). Beyond Knowledge: Other Scientific Qualities as Outcomes for School Science Education. En R.M. Janiuk y E. Samonek-Miciuk (Ed.), *Science and Technology Education for a Diverse World – dilemmas, needs and partnerships*. International Organization for Science and Technology Education (IOSTE) XIth Symposium Proceedings, pp. 23-25. Lublin, Poland: Maria Curie-Skłodowska University Press.
- FERNÁNDEZ, I., GIL, D., VILCHES, A., VALDÉS, P., CACHAPUZ, A., PRAIA, J. y SALINAS, J. (2003). El olvido de la tecnología como refuerzo de las visiones deformadas de la ciencia. En línea en *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 2(3), <http://www.saum.uvigo.es/reec/>.
- FERNÁNDEZ, M. (1997). La Historia de la Ciencia en la enseñanza de las ciencias. En R. Jiménez y A. Wamba (Eds.): *Avances en la Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 225-232. Huelva: Servicio de Publicaciones de la Universidad de Huelva.
- FLEMING, R.W. (1986a). Adolescent reasoning in socio-scientific issues, part I: Social cognition. *Journal of Research in Science Teaching*, 23(8), 677-687.
- FLEMING, R.W. (1986b). Adolescent reasoning in socio-scientific issues, part II: Non-social cognition. *Journal of Research in Science Teaching*, 23(8), 689-698.
- GIL, D., VILCHES, A., ASTABURUAGA, R. y EDWARDS M. (2000). La atención a la situación del mundo en la educación de los futuros ciudadanos y ciudadanas. *Investigación en la Escuela*, 40, 39-56.
- GIL, D., VILCHES, A., EDWARDS, M., PRAIA, J., VALDÉS, P., VITAL, M.L., TRICÁRICO, H. y RUEDA, C. (2003). A educação científica e a situação do mundo: Um programa de atividades dirigido a professores. *Ciência & Educação*, 9(1), 123-146, <http://www.fc.unesp.br/pos/revista/>.
- GIL, D., VILCHES, A. y GONZÁLEZ, M. (2002). Otro mundo es posible: de la emergencia planetaria a la sociedad sostenible. *Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales*, 16, 57-81.
- HACKING, I. (1983). *Representing and Intervening*. Cambridge, MA: Cambridge University Press. Traducción de S. García (1996): *Representar e intervenir*. México D.F.: UNAM y Ed. Paidós.
- HARLEN, W. (2001). The assessment of scientific literacy in the OECD/PISA project. *Studies in Science Education*, 36, 79-104.

- HARLEN, W. (2002). Evaluar la alfabetización científica en el programa de la OECD para la evaluación internacional de estudiantes (PISA). *Enseñanza de las Ciencias*, 20(2), 209-216.
- HOGAN, K. (2000). Exploring a process view of students' knowledge about the nature of science. *Science Education*, 84(1), 51-70.
- IRWIN, A.R. (2000). Historical case studies: teaching the nature of science in context. *Science Education*, 84(1), 5-26.
- JENKINS, E.W. (1999). Comprensión pública de la ciencia y enseñanza de la ciencia para la acción. *Revista de Estudios del Currículum*, 2(2), 7-22.
- JENKINS, E.W. (2002). Linking school science education with action. En W.M. Roth y J. Désautels (Eds.): *Science education as/for sociopolitical action*, pp. 17-34. New York: Peter Lang.
- KOLSTØ, S.D. (2000). Consensus projects: Teaching science for citizenship. *International Journal of Science Education*, 22(6), 645-664.
- KOLSTØ, S.D. (2001). Scientific Literacy for Citizenship: Tools for Dealing with the Science Dimension of Controversial Socioscientific Issues. *Science Education*, 85(3), 291-310.
- KOLSTØ, S.D., KRISTENSEN, T., ARNESEN, E., ISNES, A., MATHIASSEN, K., MESTAD, I., QUALE, A., TONNING, A.S.V. y ULVIK, M. (2004). Science student' critical assessment of scientific information related to socioscientific controversies. A paper presented at the Annual Meeting of the National Association for Research in Science Teaching. Vancouver, Canadá (31 March-3 April), <http://www.uib.no/people/pprsk/Dankert/Handouts/>.
- KOLSTØ, S.D. y MESTAD, I. (2003). Learning about the nature of scientific knowledge: The imitating science project. Paper presented at the 4th Conference of the European Science Education Research Association (ESERA): *Research and the Quality of Science Education*. Noordwijkerhout, The Netherlands, <http://www.uib.no/people/pprsk/Dankert/Handouts/>.
- 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.
- LEDERMAN, N.G. (1992). Students' and teachers' conceptions of the nature of science: A review of the research. *Journal of Research in Science Teaching*, 29(4), 331-359.
- LEDERMAN, N.G., ABD-EL-KHALICK, F., BELL, R.L. y SCHWARTZ, R.S. (2002). Views of Nature of Science Questionnaire: Towards valid and meaningful assessment of learners' conceptions of nature of science. *Journal of Research in Science Teaching*, 39(6), 551-581.
- LEE, S. y ROTH, W-M. (2002). Learning science in the community. En W.M. Roth y J. Désautels (Eds.): *Science education as/for sociopolitical action*, pp. 37-66. New York: Peter Lang.
- 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., GUIASOLA, J., LÓPEZ-CEREZO J.A., MACEDO, B., MARTÍNEZ-TORREGROSA, J., MORENO, A., PRAIA, J., RUEDA, C., TRICÁRICO,

- H., VALDÉS, P. y VILCHES, A. (2002). Papel de la tecnología en la educación científica: una dimensión olvidada. *Revista Iberoamericana de Educación*, 28, 129-155, <http://www.campus-oei.org/revista/rie28a05.PDF>.
- MANASSERO, M.A., VÁZQUEZ, A. y ACEVEDO, J.A. (2004). Evidences for consensus on the nature of science issues. En R.M. Janiuk y E. Samonek-Miciuk (Eds.): *Science and Technology Education for a Diverse World – dilemmas, needs and partnerships*. International Organization for Science and Technology Education (IOSTE) XIth Symposium Proceeding, pp. 167-168. Lublin, Poland: Marie Curie-Skłodowska University Press.
- MARTÍN, M. (2001). *AIDS-2001: La vacuna contra el SIDA. Simulación educativa de un caso CTS sobre la salud*. Madrid: OEI.
- MARTÍN, M. (2003). Metáforas y simulaciones: alternativas para la didáctica y la enseñanza de las ciencias. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 2(3), <http://www.saum.uvigo.es/reec/>.
- MARTÍN, M. (2004). Educar per participar en ciència i tecnologia. *Revista del Col.legi Oficial de Doctors i Llicenciats en Filosofia i Lletres i en Ciències de Catalunya*, 122, 57-70.
- MARTÍN, M. (2005). Las decisiones científicas y la participación ciudadana. Un caso CTS sobre investigación biomédica. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 2(1), 38-55, <http://www.apac-eureka.org/revista/Larevista.htm>.
- MARTÍN, M. y OSORIO, C. (2003). Educar para participar en ciencia y tecnología. Un proyecto para la difusión de la cultura científica. *Revista Iberoamericana de Educación*, 32, 165-210, <http://www.campus-oei.org/revista/rie32a08.PDF>.
- MARTÍN, M., OSORIO, C. y LÓPEZ-CEREZO, J.A. (2001). La educación en valores a través de CTS. En G. Hoyos et al. (Coord.): *La educación en valores en Iberoamérica*, pp. 119-161. Madrid: OEI. En *Sala de Lecturas CTS+I de la OEI*, www.campus-oei.org/salactsi/mgordillo.htm.
- MARTINS, I.P. (2003). Formação inicial de Professores de Física e Química sobre a Tecnologia e suas relações sócio-científica. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 2(3), <http://www.saum.uvigo.es/reec/>.
- MATTHEWS, M.R. (1994). Historia, filosofía y enseñanza de las ciencias: la aproximación actual. *Enseñanza de las Ciencias*, 12(2), 255-277.
- MATTHEWS, M.R. (1998a). In Defense of Modest Goals When Teaching about the Nature of Science. *Journal of Research in Science Teaching*, 35(2), 161-174.
- MATTHEWS, M.R. (1998b). The Nature of Science and Science Teaching. En B.J. Fraser y K.G. Tobin (Eds.): *International Handbook of Science Education*, pp. 981-999. Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers.
- MEC (2004). *Evaluación PISA 2003. Resumen de los primeros resultados en España*. INECSE/MEC.
- MCCOMAS W.F., CLOUGH, M.P. y ALMAZROA, H. (1998). The Role And Character of The Nature of Science in Science Education. En W.F. McComas (Ed.): *The Nature Of Science In Science Education. Rationales and Strategies*, pp. 3-39. Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers.
- MCCOMAS, W.F. y OLSON, J.K. (1998). The nature of science in international science education standards documents. En W.F. McComas (Ed.): *The nature of science*

- in science education: Rationales and strategies*, pp. 41-52. Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers.
- NRC (1996). *National Science Education Standards*. Washington, DC: National Academic Press.
- OECD (1999). *Measuring student knowledge and skills. A new framework for assessment*. París: OECD. Traducción de G. Gil Escudero, J. Fernández García, F. Rubio Miguelsanz y C. López Ramos (2000): *La medida de los conocimientos y las destrezas de los alumnos. Un nuevo marco de evaluación*. Madrid: INCE/MECD.
- OECD (2000). *Measuring student knowledge and skills: The PISA assessment of reading, mathematical and scientific literacy*. París: OECD. Traducción de G. Gil Escudero, J. Fernández García, F. Rubio Miguelsanz, C. López Ramos y S. Sánchez Robles (2001): *La medida de los conocimientos y las destrezas de los alumnos: La evaluación de la lectura, las matemáticas y las ciencias en el proyecto PISA 2000*. Madrid: INCE/MECD.
- OECD (2001). *Knowledge and skills for life: First results from PISA 2000. Executive Summary*. París: OECD. Traducción de G. Gil Escudero (2001): *Conocimientos y destrezas para la vida: primeros resultados del proyecto PISA 2000. Resumen de resultados*. Madrid: INCE/MECD.
- OECD (2004a). *First results from PISA 2003: Executive Summary*. París: OECD. Traducción de E. Belmonte (2004): *Aprender para el mundo de mañana. Resumen de resultados PISA 2003*. Madrid: INECSE/MEC.
- OECD (2004b). *Learning for Tomorrow's World: First Results from PISA 2003*. París: OECD.
- OSBORNE, J., COLLINS, S., RATCLIFFE, M., MILLAR, R. y DUSCHL, R. (2003). What 'ideas-about-science' should be taught in school science? A Delphi study of the expert community. *Journal of Research in Science Teaching*, 40(7), 692-720.
- PAIXÃO, M.F. y CACHAPUZ, A. (2000). Mass conservation in chemical reactions: The development of an innovative teaching strategy based on the history and philosophy of science. *Chemistry Education: Research and practice in Europe*, 1(2), 201-215, http://www.uoi.gr/conf_sem/cerapie.
- PEDRETTI, E. (1999). Decision making and STS education: Exploring scientific knowledge and social responsibility in schools and science centers through an issues-based approach. *School Science and Mathematics*, 99, 174-181.
- REID, D.J. y HODSON, D. (1989). *Science for all*. London: Cassell. Traducción de M.J. Martín-Díaz y L.A. García-Lucía (1993): *Ciencia para todos en Secundaria*. Madrid: Narcea.
- ROTH, W.M. y DÉSAUTELS, J., Eds. (2002). *Science education as/for sociopolitical action*. New York: Peter Lang.
- ROTH, W.M. y DÉSAUTELS, J. (2004). Educating for citizenship: Reappraising the role of science education. *Canadian Journal of Science, Mathematics and Technology Education*, 4(2), 149-168.
- ROTH, W.M. y LEE, S. (2004). Science education as/for participation in the community. *Science Education*, 88(2), 263-291.
- SADLER, T.D. (2004). Informal reasoning regarding socioscientific issues: A critical review of research. *Journal of Research in Science Teaching*, 41(5), 513-536.

- SADLER, T.D., CHAMBERS, W.F. y ZEIDLER, D. (2004). Student conceptualizations of the nature of science in response to a socioscientific issue. *International Journal of Science Education*, 26(4), 387-409.
- SADLER, T.D. y ZEIDLER, D. (2004). The morality of socioscientific issues: Construal and resolution of genetic engineering dilemmas. *Science Education*, 88(1), 4-27.
- SADLER, T.D. y ZEIDLER, D. (2005a). Patterns of informal reasoning in the context of socioscientific decision making. *Journal of Research in Science Teaching*, 42(1), 112-138.
- SADLER, T.D. y ZEIDLER, D. (2005b). The significance of content knowledge for informal reasoning regarding socioscientific issues: Applying genetics knowledge to genetic engineering issues. *Science Education*, 89(1), 71-93.
- SÁNCHEZ-RON, J.M. (1992). *El poder de la ciencia*. Madrid: Alianza.
- SMITH, M.U., LEDERMAN, N.G., BELL, R.L., MCCOMAS, W.F. y CLOUGH, M.P. (1997). How great is the disagreement about the nature of science? A response to Alters. *Journal of Research in Science Teaching*, 34(10), 1101-1104.
- SMITH, M.U. y SCHARMANN, L.C. (1999). Defining versus describing the nature of science: a pragmatic analysis of classroom teachers and science educators. *Science Education*, 83(4), 493-509.
- SOKAL, A. y BRICMONT, J. (1997). *Intellectual impostures: Postmodern philosophers' abuse of science*. London: Profile. Traducción de J.C. Guix Vilaplana (1999): *Imposturas intelectuales*. Barcelona: Paidós.
- SOLBES, J. y TRAVER, M.J. (1996). La utilización de la historia de las ciencias en la enseñanza de la física y química. *Enseñanza de las Ciencias*, 14(1), 103-112.
- SOLBES, J. y TRAVER, M. (2001). Resultados obtenidos introduciendo Historia de la Ciencia en las clases de Física y Química: mejora de la imagen de la ciencia y desarrollo de actitudes positivas. *Enseñanza de las Ciencias*, 19(1), 151-161.
- SOLBES, J., VILCHES, A. y GIL, D. (2002). Papel de las interacciones CTS en el futuro de la enseñanza de las ciencias. En P. Membiela (Ed.): *Enseñanza de las ciencias desde la perspectiva ciencia-tecnología-sociedad. Formación científica para la ciudadanía*, pp. 221-231. Madrid: Narcea.
- SPECTOR, B., STRONG, P. y LAPORTA, T. (1998). Teaching the nature of science as an element of science, technology and society. En W.F. McComas (Ed.): *The nature of science in science education: Rationales and strategies*, pp. 267-276. Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers.
- TENREIRO-VIEIRA, C. (2000). *O pensamento crítico na educação científica*. Lisboa, Portugal: Instituto Piaget.
- TENREIRO-VIEIRA, C. y VIEIRA, R.M. (2001). *Promover o pensamento crítico dos alunos: Propostas concretas para a sala de aula*. Porto, Portugal: Porto Editora.
- VALDÉS, P., VALDÉS, R., GUIASOLA, J. y SANTOS, T. (2002). Implicaciones de las relaciones ciencia-tecnología en la educación científica. *Revista Iberoamericana de Educación*, 28, 101-128, <http://www.campus-oei.org/revista/rie28a04.PDF>.
- VÁZQUEZ, A., ACEVEDO, J.A. y MANASSERO, M.A. (2004). Consensos sobre la naturaleza de la ciencia: evidencias e implicaciones para su enseñanza. *Revista Iberoamericana de Educación*, edición electrónica *De los Lectores*, <http://www.campus-oei.org/revista/deloslectores/702Vazquez.PDF>.

- VÁZQUEZ, A., ACEVEDO, J.A., MANASSERO, M.A. y ACEVEDO, P. (2001). Cuatro paradigmas básicos sobre la naturaleza de la ciencia. *Argumentos de Razón Técnica*, 4, 135-176. En *Sala de Lecturas CTS+I de la OEI*, 2003, <http://www.campus-oei.org/salactsi/acevedo20.htm>.
- VÁZQUEZ, A., ACEVEDO, J.A., MANASSERO, M.A. y ACEVEDO, P. (2004). Hacia un consenso sobre la naturaleza de la ciencia en la enseñanza de las ciencias. En I.P. Martins, F. Paixão y R. Vieira (Org.): *Perspectivas Ciência-Tecnologia-Sociedade na Inovação da Educação em Ciência*, pp. 129-132. Aveiro, Portugal: Universidade de Aveiro.
- VILCHES, A. y GIL, D. (2003). *Construyamos un futuro sostenible. Diálogos de supervivencia*. Madrid: Cambridge University Press.
- WAKS, L.J. (1996). Las relaciones escuela-comunidad y su influencia en la educación en valores en CTS. En A. Alonso, I. Ayestarán y N. Ursúa (Eds.): *Para comprender Ciencia, Tecnología y Sociedad*, pp. 35-47. Estella: EVD.
- WOLPERT, L. (1992). *The Unnatural Nature of Science*. London: Faber & Faber. Traducción de A. Linares (1994): *La naturaleza no natural de la ciencia*. Madrid: Acento Editorial.
- ZEIDLER, D.L. (1984). Moral issues and social policy in science education: Closing the literacy gap. *Science Education*, 68(4), 411-419.
- ZEIDLER, D.L., SADLER, T.D. y SIMMONS, M.L. (2003). Morality and Socioscientific Issues in Science Education: Current Research and Practice. Paper presented at the 4th Conference of the European Science Education Research Association (ESERA): *Research and the Quality of Science Education*. Noordwijkerhout, The Netherlands, <http://www1.phys.uu.nl/esera2003/program.shtml>.
- ZEIDLER, D.L. y SCHAFER, L.E. (1984). Identifying meditating factors of moral reasoning in science education. *Journal of Research in Science Teaching*, 21(1), 1-15.
- ZEIDLER, D.L., WALKER, K.A., ACKETT, W.A. y SIMMONS, M.L. (2002). Tangled up in views: Beliefs in the nature of science and responses to socioscientific dilemmas. *Science Education*, 86(3), 343-367.
- ZIMAN, J. (1978). *Reliable knowledge. An exploration of the grounds for belief in science*. Cambridge: Cambridge University Press. Traducción de E. Pérez Sedeño (1981): *La credibilidad de la ciencia*. Madrid: Alianza Editorial.
- ZIMAN, J. (2000). *Real science: What it is and what it means*. Cambridge: Cambridge University Press. Traducción de E. Pérez Sedeño y N. Galicia Pérez (2003): *¿Qué es la ciencia?* Madrid: Cambridge University Press.