

## EDUCACIÓN CIUDADANA Y ALFABETIZACIÓN CIENTÍFICA: MITOS Y REALIDADES<sup>1</sup>

Daniel Gil Pérez \*

Amparo Vilches \*\*

**SÍNTESIS:** La alfabetización científica de la ciudadanía, en opinión de muchos expertos y responsables políticos, constituye hoy día un componente básico de la educación ciudadana. Pero ¿es necesaria, realmente, una formación científica para toda la ciudadanía? ¿Es posible alcanzar dicho objetivo? ¿Merece la pena el esfuerzo requerido? ¿A qué se debe el amplio rechazo por los estudios científicos? ¿Qué puede aportar realmente la ciencia a la educación ciudadana? En este artículo se abordan estas cuestiones con cierta profundidad, intentando ir más allá de la aceptación acrítica de supuestas evidencias.

31

**SÍNTESE:** *A alfabetização científica da cidadania, em opinião de muitos especialistas e responsáveis políticos, constitui, no momento atual, um componente básico da educação cidadã. Mas será necessária realmente uma formação científica para toda a cidadania? Será possível alcançar este objetivo? Valerá a pena o esforço requerido? A que se deve o amplo rechaço aos estudos científicos? Que pode oferecer, realmente, a ciência à educação cidadã? Nesse artigo, abordam-se estas questões com certa profundidade, tentando ir mais além da aceitação acrítica de supostas evidências.*

---

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

\* Catedrático de Didáctica de las Ciencias Experimentales en el Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales de la Universidad de Valencia, España.

\*\* Colaboradora del Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales de la Universidad de Valencia. Profesora del Programa de Doctorado: Investigación en Didáctica de las Ciencias Experimentales. Catedrática de Física y Química de bachillerato, actualmente en el Instituto de Enseñanza Secundaria Sorolla, Valencia, España.

## 1. INTRODUCCIÓN / ADVERTENCIA

Los autores de este trabajo tenemos un alto *handicap* para analizar con cierta objetividad cuál ha de ser el papel de la ciencia en la educación ciudadana: somos científicos. Es casi inevitable, por ello, que tendamos a sobrevalorar un campo de conocimientos que es el nuestro y en el que disfrutamos trabajando. Afortunadamente, somos también ciudadanos y concedemos a esta dimensión tanta o más importancia que a nuestra profesión, lo que esperamos pueda ayudarnos a superar planteamientos sectoriales.

Nos proponemos, pues, desconfiar, de entrada, de las apreciaciones y argumentos de los expertos de nuestra área y no consideraremos como algo obvio la inclusión obligatoria de las ciencias en el currículo básico para la educación de la ciudadanía. Del mismo modo, rogamos a los lectores y lectoras que adopten una posición similar, sin dejarse convencer por simples argumentos de autoridad esgrimidos por los propios interesados.

## 2. ARGUMENTOS DE AUTORIDAD

32

Se suele dar por sentada la existencia de un amplio consenso en contemplar hoy la alfabetización científica como una prioridad de la educación ciudadana, como un factor esencial del desarrollo de las personas y de los pueblos. Así, frecuentemente se recuerda que en la Conferencia Mundial sobre la Ciencia para el siglo XXI, auspiciada por la UNESCO y el Consejo Internacional para la Ciencia, se declara que:

Para que un país esté en condiciones de atender a las necesidades fundamentales de su población, la enseñanza de las ciencias y la tecnología es un imperativo estratégico [...]. Hoy más que nunca es necesario fomentar y difundir la alfabetización científica en todas las culturas y en todos los sectores de la sociedad (Declaración de Budapest, 1999).

Otros ejemplos relevantes que apuntan en la misma dirección, son los planteamientos de los National Science Education Standards, auspiciados por el National Research Council (1996) para el logro de la educación científica de los ciudadanos y ciudadanas estadounidenses del siglo XXI, en cuya primera página podemos leer:

En un mundo repleto de productos de la indagación científica, la alfabetización científica se ha convertido en una necesidad para todos: todos necesitamos utilizar la información científica para realizar opciones que se plantean cada día; todos necesitamos ser capaces de implicarnos en discusiones públicas acerca de asuntos importantes que se relacionan con la ciencia y la tecnología; y todos merecemos compartir la emoción y la realización personal que puede producir la comprensión del mundo natural.

Ejemplos como éstos, se afirma, muestran la importancia concedida a una educación científica para todos, hasta el punto que se ha establecido una analogía entre la alfabetización básica iniciada el siglo pasado y el actual movimiento de alfabetización científica y tecnológica (Fourez, 1997).

Hay algo, sin embargo, que no se nos debe pasar por alto: todos los ejemplos mencionados expresan la opinión de quienes se ocupan de la educación científica (como es el caso, repetimos, de nosotros mismos). Se trata de valoraciones que, en buena medida, podrían expresarse resumidamente con una sencilla frase «lo nuestro es muy importante». Éste es un argumento muy común en todas las esferas de la vida pero, como es bien sabido, resulta escasamente fiable.

De hecho, algunos expertos en educación han puesto en duda la conveniencia e incluso la posibilidad de que la generalidad de los ciudadanos y ciudadanas adquieran una formación científica que les resulte realmente útil (Atkin y Helms, 1993; Shamos, 1995; Fensham, 2002a y 2002b). A través de trabajos bien documentados que pretenden «sacudir aparentes evidencias», Shamos califica en su libro *The Myth of Scientific Literacy*, de auténtico mito la necesidad de alfabetizar científicamente a toda la población. Conviene, pues, prestar atención a los argumentos críticos de estos autores y analizar más cuidadosamente las razones que justifican, o no, las propuestas de «ciencia para todos» como un elemento básico de la cultura ciudadana.

### 3. FORMACIÓN CIENTÍFICA EN SOCIEDADES ALTAMENTE TECNIFICADAS

Fensham (2002b) nos recuerda que el movimiento Ciencia para todos y las primeras discusiones sobre la alfabetización científica se han basado en lo que podemos denominar la tesis pragmática, según la cual, los futuros ciudadanos se desenvolverán mejor si adquieren una base de conocimientos científicos, dado que las sociedades se ven cada vez más influidas por las ideas y productos de la tecnociencia.

Pero la tesis pragmática no tiene en cuenta el hecho de que la mayoría de los productos tecnológicos están concebidos para que los usuarios no tengan, para poder utilizarlos, ninguna necesidad de conocer los principios científicos en los que se basan. En efecto, en cualquier sociedad, millones de ciudadanos, incluidas eminentes personalidades, reconocen su falta de conocimientos científicos sin que ello haya limitado en nada su vida práctica. Algo muy distinto sucede con los conocimientos que conforman la alfabetización básica: nadie puede desenvolverse hoy sin saber leer y escribir o sin dominar las operaciones matemáticas más simples. La supuesta analogía entre alfabetización científica y alfabetización básica no tiene, pues, consistencia (Atkin y Helms, 1993).

Hay que reconocer que ésta es una crítica fundamentada, cuya validez puede ser corroborada por la experiencia de la generalidad de los ciudadanos y ciudadanas. Se cuestiona así, justificadamente, uno de los argumentos habitualmente esgrimidos en defensa de una alfabetización científica como constituyente de la educación ciudadana. Pero existen otros argumentos que también debemos analizar críticamente.

#### 4. EDUCACIÓN CIENTÍFICA Y PARTICIPACIÓN CIUDADANA EN LA TOMA DE DECISIONES

¿Es útil la educación científica para hacer posible la participación ciudadana en la toma de decisiones? Junto a la justificación pragmática que acabamos de cuestionar, una segunda razón que se esgrime en favor de un componente científico de la educación ciudadana es que ello constituye un requisito para hacer posible la participación ciudadana en la toma de decisiones. Así, la mencionada Declaración de Budapest señala que la alfabetización científica es necesaria «a fin de mejorar la participación de los ciudadanos en la adopción de decisiones relativas a las aplicaciones de los nuevos conocimientos». Y los National Science Education Standards argumentan que «todos necesitamos ser capaces de implicarnos en discusiones públicas acerca de asuntos importantes que se relacionan con la ciencia y la tecnología». Este argumento democrático es, quizás, el más utilizado por quienes reclaman la alfabetización científica y tecnológica como una componente básica de la educación ciudadana (Fourez, 1997; Bybee, 1997; DeBoer, 2000).

¿Hasta qué punto es válida esta justificación democrática? ¿No constituirá otro mito como ocurre con el argumento pragmático? Fensham plantea que considerar que una sociedad científicamente alfabetizada está en mejor situación para actuar racionalmente frente a los problemas socio-científicos constituye una ilusión, por cuanto se ignora la complejidad de los conceptos científicos implicados. Para ello se vale del ejemplo del cambio climático y sus causas. En su opinión, es ingenuo creer que este nivel de conocimientos pueda ser adquirido siquiera en las mejores escuelas. Un hecho clarificador a ese respecto, argumenta, es el resultado del Project 2061, financiado por la American Association for the Advancement of Sciences (AAAS), que consistió en pedir a un centenar de eminentes científicos de distintas disciplinas que enumeraran los conocimientos científicos que deberían impartirse en los años de escolarización obligatoria para garantizar una adecuada alfabetización científica de los niños y niñas norteamericanos. El número total de aspectos a cubrir, señala Fensham, desafía el entendimiento y resulta superior a la suma de todos los conocimientos actualmente enseñados a los estudiantes de elite que se preparan como futuros científicos. Algo irrealizable y carente de sentido. Entonces, ¿debemos renunciar a la idea de una educación científica básica para todos? O, lo que es mucho más grave, ¿debemos renunciar a una participación ciudadana fundamentada en la toma de decisiones y dejar esas decisiones en manos de los expertos?

En lo que sigue, la argumentación que presentamos estará basada en nuestra formación y actividad como ciudadanos tanto o más que en nuestra preparación científica. E intentaremos mostrar que la argumentación de Fensham es, en este caso, claramente errónea: que la participación en la toma fundamentada de decisiones por parte de los ciudadanos requiere, más que un nivel muy elevado de conocimientos, la aptitud para vincular un mínimo de conocimientos específicos, perfectamente accesibles, con planteamientos globales y consideraciones éticas que no exigen especialización alguna (Gil y Vilches, 2004a).

Más aún, intentaremos mostrar que la posesión de profundos conocimientos específicos, como los que poseen los especialistas en un campo determinado, no garantiza la adopción de decisiones adecuadas, sino que se necesitan enfoques que contemplen los problemas en una perspectiva más amplia, analizando las posibles repercusiones a medio y largo plazo, tanto en el campo considerado como en otros. Y eso es algo a lo que puede contribuir cualquier persona, con perspectivas e intereses más amplios, siempre que posean un mínimo de conocimientos cientí-

ficos específicos sobre la problemática estudiada, que posibilite comprender las opciones en juego y participar en la adopción de decisiones fundamentadas. Esperamos responder, de este modo, a los argumentos de quienes consideran la alfabetización científica del conjunto de la ciudadanía un mito irrealizable y sin verdadero interés.

Para ello analizaremos, como ejemplo paradigmático, el problema creado a partir de la Segunda Guerra Mundial, por los fertilizantes químicos y pesticidas que produjeron una verdadera revolución agrícola, incrementando notablemente la producción. Recordemos que la utilización de productos de síntesis para combatir los insectos, plagas, malezas y hongos aumentó la productividad en un período en el que un notable crecimiento de la población mundial así lo exigía. Algunos años después, la Comisión Mundial del Medio Ambiente y del Desarrollo (1988), instituida por Naciones Unidas, advertía sobre la amenaza que constituía su uso excesivo para la salud humana, provocando desde malformaciones congénitas hasta cáncer, actuando como auténticos venenos para peces, mamíferos y pájaros. Dichas sustancias se acumulan en los tejidos de los seres vivos y, junto a otras igualmente tóxicas, han sido denominadas «contaminantes orgánicos persistentes» (COP).

36

Lo que interesa destacar aquí es que este envenenamiento del planeta a causa del uso de productos químicos de síntesis, en particular del DDT, ya había sido denunciado a finales de los años cincuenta por Rachel Carson (1980) en su libro *Primavera silenciosa* –título que hace referencia a la desaparición de los pájaros– en cuyo texto ofrecía abundantes y contrastadas pruebas de los efectos nocivos del DDT. Tales denuncias le valieron violentas críticas y duros acosos por parte de la industria química, los políticos y numerosos científicos que negaron valor a sus pruebas, acusándola de estar en contra del progreso que permitía dar de comer a una población creciente y salvar así muchas vidas humanas. Sin embargo, apenas diez años más tarde se reconoció que el DDT era realmente un peligroso veneno y se prohibió su utilización en el mundo rico, aunque, desgraciadamente, se siguió utilizando en los países en desarrollo.

Lo relevante de la batalla contra el DDT es que fue dada por científicos como Carson en confluencia con grupos ciudadanos sensibles a sus argumentos y llamados de atención. De hecho Rachel Carson es recordada hoy como «madre del movimiento ecologista» por la influencia que tuvo la gran repercusión de su libro en el surgimiento de grupos activistas que reivindicaban la protección del medio ambiente, así como

en los orígenes del denominado movimiento CTS. En nuestra opinión, sin la acción de estos grupos ciudadanos, caracterizados por su capacidad para comprender los argumentos de Carson, la prohibición del uso de DDT se hubiera demorado, con efectos aún más devastadores. Destacamos la acción de estos activistas ilustrados como ejemplo de participación ciudadana en la toma de decisiones. De igual modo, es de nuestro interés resaltar la actitud de muchos científicos, con un nivel de conocimientos sin duda muy superior al de esos ciudadanos, quienes se negaron a reconocer, inicialmente, los peligros asociados al uso de plaguicidas.

Entre otros, podemos mencionar muchos ejemplos similares, tales como la construcción de centrales nucleares y el almacenamiento de residuos radioactivos; el uso de freones –compuestos fluorclorocarbonados–, destructores de la capa de ozono; la creciente emisión de CO<sub>2</sub>, causante principal del incremento del efecto invernadero y la consiguiente amenaza de un cambio climático global de consecuencias devastadoras (Diamond, 2006); los alimentos manipulados genéticamente, etcétera.

Consideramos conveniente detenernos en el ejemplo de los alimentos transgénicos, que, desde hace tiempo, está suscitando grandes debates y que puede ilustrar perfectamente el papel de la ciudadanía en la toma de decisiones (Gil y Vilches, 2004a). También en este terreno, los planteos iniciales fueron enfocados positivamente como forma de reducir el uso de pesticidas y herbicidas. Los alimentos transgénicos fueron considerados como la solución definitiva para los problemas del hambre en el mundo. Asimismo, se vislumbraban grandes posibilidades en el campo de la salud, a través de la aplicación de conocimientos y técnicas nuevas en el tratamiento de enfermedades incurables. Así, en 1998, el director general de una fuerte y reconocida empresa de manipulación genética de organismos y alimentos derivados, durante la asamblea anual de la Organización de la Industria de la Biotecnología, afirmó que:

De algún modo, vamos a tener que resolver cómo abastecer de alimentos a una demanda que duplica la actual, sabiendo que es imposible doblar la superficie cultivable. Y es imposible, igualmente, aumentar la productividad usando las tecnologías actuales, sin crear graves problemas a la sostenibilidad de la agricultura [...]. La biotecnología representa una solución potencialmente sostenible al problema de la alimentación.

Pocos estuvieron de acuerdo con una visión tan optimista, advirtiendo con preocupación sobre los posibles riesgos para el medio ambiente, la salud humana, el futuro de la agricultura, etc. Una vez más –señalaron los críticos– se pretende proceder a una aplicación apresurada de tecnologías cuyas repercusiones no han sido suficientemente investigadas, sin tener garantías razonables de que no aparecerán efectos nocivos, como ocurrió con los plaguicidas, que también fueron saludados como «la solución definitiva» al problema del hambre y de muchas enfermedades infecciosas.

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

Otro ejemplo en el mismo sentido lo constituye la acción concertada de amplios sectores de científicos y ciudadanos en contra de la construcción de centrales nucleares. Un fuerte debate ha resurgido

recientemente debido a propuestas que presentan la energía nuclear como «solución» frente al grave problema del cambio climático. Provenientes incluso de algunos científicos que trabajan en temas de medio ambiente –como Lovelock–, tales propuestas plantean la adopción de la energía nuclear con el fin de disminuir, en forma urgente, la emisión de los gases que provocan el incremento del efecto invernadero. Existe un consenso general en la comunidad científica acerca de que el cambio climático provocado por la actividad humana ya ha comenzado y está relacionado directamente con las emisiones de CO<sub>2</sub> y otros gases de efecto invernadero. También se ha llegado a un acuerdo sobre la necesidad de establecer, a la brevedad máxima, un nuevo modelo energético que prescinda de los combustibles fósiles.

Sin embargo, algunos expertos –incluido el mismo Lovelock–, han demostrado un serio desconocimiento de la problemática energética al proponer a la energía nuclear como solución. En primer lugar, ignoran los graves problemas que ocasiona al medio ambiente el uso de este recurso energético, aun cuando entre ellos no esté incluido el incremento de los gases de efecto invernadero. Numerosos expertos que encontraron eco en la ciudadanía, denunciaron, entre otros problemas, la existencia de toneladas de residuos de media y alta actividad, con vidas medias de centenares de años y, en algunos casos, de milenios; los riesgos asociados al transporte y manipulación de los materiales radioactivos; la posibilidad de accidentes de consecuencias nefastas, como el ocurrido en Chernobil; la factibilidad de atentados, cuya hipotética prevención requiere costosas medidas de seguridad, etc. Demasiados accidentes de esta índole han dado prueba suficiente de la falta de prudencia con que se opera en este sentido y han motivado que importantes movimientos ciudadanos en todo el mundo logren frenar la construcción de nuevas centrales nucleares.

Es oportuno considerar que la energía de origen nuclear representa tan sólo un 6% en el ámbito mundial. Incluso en países como Francia o Japón, que en su momento optaron por la creación de numerosas centrales nucleares, el porcentaje de esta energía no alcanza al 20%. Aunque se afirme que en Francia el porcentaje referido sea de un 80%, éste corresponde a la producción de electricidad. Cabe también destacar que el consumo de productos petrolíferos per cápita en Francia es similar al del conjunto de la Unión Europea.

En consecuencia, apostar por una solución nuclear exigiría la creación de miles de centrales en todo el mundo, con un costo desme-

surado y absolutamente inaccesible a los países del Tercer Mundo, donde dos mil millones de personas siguen sin tener acceso a la electricidad y otros tres mil tienen un suministro de energía insuficiente. En conclusión: la energía nuclear no representa hoy una alternativa real que pueda oponerse a la de los combustibles fósiles, sino un grave problema que se debe combatir.

La alternativa válida está dada hoy por las energías renovables y el ahorro energético, aunque quienes busquen beneficios a corto plazo sostengan lo contrario. Los parques eólicos y los paneles fotovoltaicos constituyen hoy una realidad en fuerte expansión en algunos países, pese al escaso impulso dado hasta aquí a su desarrollo, consecuencia de la presión ejercida por diversos grupos petrolíferos y compañías de electricidad. La presión ejercida por parte de movimientos ciudadanos, ONG y grupos ecologistas jugaron un rol central en las recomendaciones del uso de este tipo de generadores de energía enunciadas en la Cumbre de la Tierra, en Río de Janeiro en 1992; en la de Johannesburgo en 2002.

Incluso desde instituciones mundiales, como el World Watch Institute o el propio Parlamento Europeo, se insta a poner en marcha medidas políticas con plazos precisos para el logro de un incremento del porcentaje de energías renovables en el consumo final energético, de forma tal que representen un 20% del total en el año 2020. A dichos análisis e impulso se sumó la Declaración Final de la Conferencia Mundial sobre Energías Renovables, clausurada en Bonn en junio de 2004, con participación de más de 150 países, evento sellado con un acuerdo de realización de medidas concretas, cuya puesta en práctica será supervisada por Naciones Unidas, para impulsar las energías renovables como la eólica, la mini-hidráulica o la solar, reconociendo su papel crucial en la lucha contra el cambio climático y la pobreza (Gil Pérez y Vilches, 2004b).

En definitiva, debemos insistir en que esta participación de la ciudadanía en la toma de decisiones –que generalmente se traduce en evitar la aplicación apresurada de innovaciones de dudosas consecuencias a medio y largo plazo– no supone ninguna rémora para el desarrollo de la investigación, ni para la introducción de innovaciones que conlleven razonables garantías de seguridad. Prueba de ello es que la opinión pública no se opone a la investigación con células madre embrionarias; por el contrario, está apoyando el reclamo de la comunidad científica para que cese la prohibición introducida en algunos países, por presión de grupos ideológicos fundamentalistas.

De hecho, la participación ciudadana en la toma de decisiones es una garantía de aplicación del Principio de Precaución, que se apoya en una creciente sensibilidad social frente a las implicaciones del desarrollo tecnocientífico que puedan comportar riesgos para las personas o el medio ambiente. Dicha participación requiere un mínimo de formación científica que haga posible la comprensión de los problemas y de las opciones –que se pueden y se deben expresar con un lenguaje accesible– y no ha de verse rechazada con el argumento de la excesiva complejidad que revisten problemas tales como el cambio climático o la manipulación genética. Naturalmente, se precisan estudios científicos rigurosos aunque por sí solos no bastan para adoptar las decisiones adecuadas. A menudo, la dificultad estriba, antes que en la falta de conocimientos, en la ausencia de un planteamiento global que evalúe riesgos y contemple posibles consecuencias a mediano y largo plazo. Muy ilustrativo a este respecto puede ser el enfoque dado a las consecuencias provocadas por el hundimiento del petrolero *Prestige*, que algunos intentan presentar como «accidente» siendo que constituyó una auténtica catástrofe, fruto previsible de la opción de reducir los costos de las medidas de seguridad en función del máximo beneficio particular a corto plazo (Gil y Vilches, 2003).

Todo ello constituye un argumento decisivo a favor de una alfabetización científica del conjunto de la ciudadanía, cuya necesidad aparece cada vez con más claridad ante la situación de auténtica «emergencia planetaria» (Bybee, 1991) que estamos viviendo. Así, en la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo, celebrada en Río de Janeiro en 1992 y conocida como «Primera Cumbre de la Tierra», se reclamó una decidida acción de los educadores para que los ciudadanos y ciudadanas adquieran una correcta percepción de cuál es esa situación y puedan participar en la toma de decisiones fundamentadas (Gil Pérez, 2003; Edwards, 2004). Tal situación, dada su gravedad, ha conducido a Naciones Unidas a instituir la Década de la Educación para un Futuro Sostenible, para el período 2005-2014. Como señalan Hicks y Holden (1995), si los estudiantes han de llegar a ser ciudadanos y ciudadanas responsables, es preciso que se les proporcionen posibilidades de análisis de los problemas globales que caracterizan la situación de emergencia planetaria, para la consideración de posibles soluciones.

Así, la alfabetización científica no sólo no constituye un «mito irrealizable» (Shamos, 1995), sino que se impone como una dimensión esencial de la cultura ciudadana. La reivindicación de esta dimensión no

es el fruto de «una idea preconcebida» aceptada acríticamente, como afirma Fensham (2002a y 2002b). Consideramos que el prejuicio fundado en que «la mayoría de la población es incapaz de acceder a los conocimientos científicos, que exigen un alto nivel cognitivo», no es sino una estrategia para reservarlos a una pequeña elite. El actual rechazo de la alfabetización científica recuerda la histórica y sistemática resistencia de los privilegiados a la extensión de la cultura y a la generalización de la educación (Gil y Vilches, 2001). Esta reivindicación forma parte de las batallas progresistas por vencer dichas resistencias, las cuales constituyen el verdadero prejuicio acrítico. Recordemos la frase del gran científico francés Paul Langevin, quien en 1926 escribía:

En reconocimiento del papel jugado por la ciencia en la liberación de los espíritus y la confirmación de los derechos del hombre, el movimiento revolucionario hace un esfuerzo considerable para introducir la enseñanza de las ciencias en la cultura general y conformar esas humanidades modernas que aún no hemos logrado establecer.

Tal concepto nos remite a lo que puede constituir el principal aporte de la ciencia a la cultura ciudadana: la contribución al desarrollo del espíritu crítico, que abordaremos en el siguiente apartado.

42

## 5. CONTRIBUCIÓN DE LA CIENCIA A LA FORMACIÓN DEL ESPÍRITU CRÍTICO

Las palabras de Langevin, que acabamos de recordar, expresan el reconocimiento del papel jugado por la ciencia en la liberación de los espíritus; es decir, su contribución, a lo largo de la historia, a la formación de un espíritu crítico capaz de cuestionar dogmas y desafiar autoritarismos y privilegios (Gil y Vilches, 2004a).

Frente a esta valoración, sin embargo, existe hoy un creciente movimiento «anticiencia», que denuncia la ciencia exacta como un nuevo dogmatismo de conocimientos esclerotizados y, a menudo, carentes de incentivo. ¿Qué interés formativo puede tener para los jóvenes –se pregunta– el estudio de materias abstractas y puramente formales como la mecánica?

La crítica puede considerarse justa si se refiere a la forma en que la enseñanza presenta habitualmente esas materias. Pero, ¿cómo

aceptar que el desarrollo de la mecánica, o de cualquier otro campo de la ciencia, constituya una materia abstracta, puramente formal? Basta asomarse a la historia de las ciencias para darse cuenta del carácter de verdadera aventura, que el desarrollo científico ha tenido; una lucha apasionada y apasionante por la libertad de pensamiento, en la que no faltaron ni persecuciones ni condenas.

La incorporación de aspectos de relación ciencia-tecnología-sociedad-ambiente (CTSA) y de los contenidos que reflejan en la historia tanto la defensa de la libertad de investigación y pensamiento como el cuestionamiento de dogmatismos, puede devolver al aprendizaje de las ciencias, la vitalidad y la relevancia del propio desarrollo científico. Los debates en torno al heliocentrismo, el evolucionismo, la síntesis orgánica y el origen de la vida constituyen ejemplos relevantes.

Pero el aprendizaje de las ciencias puede y debe ser también una aventura potenciadora del espíritu crítico en un sentido más profundo. Desafíos como el hecho de enfrentarse a problemas abiertos o participar en la construcción tentativa de soluciones constituyen, en definitiva, la aventura de «hacer» ciencia. La naturaleza de la actividad científica aparece distorsionada en la educación científica, incluso universitaria. Ello plantea la necesidad de superación de las visiones deformadas y empobrecidas de la ciencia y la tecnología, que están socialmente aceptadas y que afectan al propio profesorado. Tal actualización permitirá proporcionar una visión más creativa, abierta y socialmente contextualizada, acorde con la propia naturaleza tentativa de la actividad científica (Fernández, 2002; Gil Pérez, 2005), en la que el espíritu crítico, cuestionador de las apariencias, juega un papel esencial.

Cabe señalar que una justificación del reduccionismo operativista habitual de la educación científica estriba, paradójicamente, en las exigencias de la formación de futuros científicos (Gil y Vilches, 2001). Nos detendremos en analizar los argumentos utilizados.

## **6. ALFABETIZACIÓN CIENTÍFICA DE LA CIUDADANÍA VS PREPARACIÓN DE LOS FUTUROS CIENTÍFICOS**

¿Se contraponen la alfabetización científica de la ciudadanía a la preparación de los futuros científicos? Una tesis comúnmente aceptada por los diseñadores de currículos y los profesores de ciencias es que la educación científica ha estado orientada, hasta aquí, a la preparación

de estudiantes como si todos pretendieran llegar a ser especialistas en biología, física o química. Según se afirma, es por esto que los currículos planteaban como objetivos prioritarios que los estudiantes estudiaran, fundamentalmente, los conceptos, principios y leyes de esas disciplinas.

Dicha orientación se modifica ahora debido a que se plantea que la educación científica es planteada como parte de una educación general para todos los futuros ciudadanos y ciudadanas. Esto es lo que justifica el énfasis de las nuevas propuestas curriculares en los aspectos sociales y personales, puesto que se trata de ayudar a la gran mayoría de la población a tomar conciencia de las complejas relaciones ciencia y sociedad, para permitirles participar en la toma de decisiones y, en definitiva, considerar la ciencia como parte de la cultura de nuestro tiempo.

Esta apuesta por una educación científica orientada a la formación ciudadana, «en vez de» a la preparación de futuros científicos, genera resistencias en numerosos profesores, quienes argumentan, legítimamente, que la sociedad necesita científicos y tecnólogos que han de formarse y ser adecuadamente seleccionados desde los primeros estadios.

44

En ambas actitudes –tanto la que defiende la alfabetización científica para todos, como la que prioriza la formación de futuros científicos– se aprecia claramente una misma aceptación referida a la contraposición entre dichos objetivos. Pero es preciso denunciar la falacia de esta contraposición entre ambas orientaciones curriculares y de los argumentos que supuestamente la avalan.

Cabe insistir en que una educación científica como la practicada hasta aquí, tanto en la secundaria como en la misma universidad, centrada casi exclusivamente en los aspectos conceptuales, es igualmente criticable como preparación de futuros científicos. Tal como hemos señalado, esta orientación transmite una visión deformada y empobrecida de la actividad científica, que no sólo contribuye a una imagen pública de la ciencia como algo ajeno e inasequible –cuando no directamente rechazable–, sino que está haciendo disminuir drásticamente el interés de los jóvenes por dedicarse a la misma (Matthews, 1991; Solbes y Vilches, 1997).

La gravedad y la extensión de estas deformaciones han sido puestas de relieve por numerosas investigaciones, que mostraron las

discrepancias entre la visión de la ciencia proporcionada por la epistemología contemporánea y ciertas concepciones y prácticas docentes, ampliamente extendidas. Estas últimas conciben la actividad científica como un conjunto rígido de etapas a seguir mecánicamente (observación, acumulación de datos, etc.), resaltando lo que supone tratamiento cuantitativo, control riguroso, etc., pero olvidando –o incluso rechazando– todo lo que significa invención, creatividad, duda (Fernández, 2002). Por otra parte, los conocimientos científicos –fruto de esta metodología– aparecen como descubrimientos de genios aislados, enclaustrados en torres de marfil y ajenos a las necesarias tomas de decisión, ignorándose así tanto el papel del trabajo colectivo, de los intercambios entre equipos, como las complejas relaciones CTSA. Todo ello hace que una enseñanza supuestamente dirigida a la formación de científicos, afiance, por acción u omisión (al centrarse únicamente en los aspectos conceptuales y su aplicación operativa), una imagen de la ciencia que, además de falsa, resulta escasamente atractiva, dificultando la génesis de vocaciones científicas (Solbes y Vilches, 1997).

Cabe resaltar, además, que esta enseñanza centrada en los aspectos conceptuales, dificulta, paradójicamente, el aprendizaje conceptual. En efecto, la investigación en didáctica de las ciencias está mostrando que:

45

Los estudiantes desarrollan mejor su comprensión conceptual y aprenden más acerca de la naturaleza de la ciencia cuando participan en investigaciones científicas, con tal de que haya suficientes oportunidades y apoyo para la reflexión (Hodson, 1992).

Dicho con otras palabras, lo que la investigación está mostrando es que la comprensión significativa de los conceptos exige superar el reduccionismo conceptual y plantear la enseñanza de las ciencias como una actividad próxima a la investigación científica, que integre los aspectos conceptuales, procedimentales y axiológicos.

Tras la idea de alfabetización científica no debe verse, pues, una «desviación» o «rebaja» para hacer asequible la ciencia a la generalidad de los ciudadanos, sino una reorientación de la enseñanza absolutamente necesaria también para los futuros científicos; necesaria para modificar la imagen deformada de la ciencia hoy socialmente aceptada y luchar contra los movimientos anticiencia que se derivan; necesaria

incluso, insistimos, para hacer posible una adquisición significativa de los conceptos.

De ninguna forma puede aceptarse que el habitual reduccionismo conceptual constituya una exigencia de la preparación de futuros científicos, contraponiéndola a las necesidades de la alfabetización científica de los ciudadanos y ciudadanas. La mejor formación científica inicial que puede recibir un futuro científico coincide con la orientación que se dé a la alfabetización científica del conjunto de la ciudadanía. Esta convergencia se muestra de una forma todavía más clara cuando se analizan con algún detalle las propuestas de alfabetización científica y tecnológica (Bybee, 1997). La tesis básica de este autor –coincidente, en lo esencial, con numerosos investigadores– es que dicha alfabetización exige, precisamente, la inmersión de los estudiantes en una cultura científica.

## 7. LA ALFABETIZACIÓN COMO POTENCIADORA DEL ESPÍRITU CRÍTICO

Nos recuerda Bybee, que una de las formas más eficaces de alfabetizarse en una lengua es por inmersión en la cultura de esa lengua. De forma similar, sugiere, cabe suponer que la inmersión en una cultura científica constituya una forma excelente de favorecer la alfabetización científica. Esta tesis, que supone en definitiva aproximar el aprendizaje de las ciencias a una actividad de investigación, ha sido expresada, de una u otra forma, por numerosos autores y aparece como un fruto esencial de la investigación en didáctica de las ciencias.

46

Estas estrategias están dirigidas, esencialmente, a implicar a los estudiantes en la construcción de conocimientos, aproximando la actividad que realizan a la riqueza de un tratamiento científico-tecnológico de problemas. Se propone, en síntesis, plantear el aprendizaje como un trabajo de investigación y de innovación a través del tratamiento de situaciones problemáticas relevantes para la construcción de conocimientos científicos y el logro de innovaciones tecnológicas susceptibles de satisfacer determinadas necesidades. Ello ha de contemplarse como una actividad abierta y creativa, debidamente orientada por el profesor, que se inspira en el trabajo de científicos y tecnólogos, y que debería incluir toda una serie de aspectos como los que enumeramos seguidamente (Gil, 1999), tanto para favorecer la formación de futuros cientí-

ficos como por su valor como instrumento de educación ciudadana (Gil y Vilches, 2004a).

### *7.1 La discusión del posible interés y la relevancia de las situaciones*

Propuestas que den sentido a su estudio y eviten que los alumnos se vean sumergidos en el tratamiento de una situación sin haber podido siquiera formarse una primera idea motivadora o contemplado la necesaria toma de decisiones, por parte de la comunidad científica, acerca de la conveniencia o no de dicho trabajo; teniendo en cuenta su posible contribución a la comprensión y transformación del mundo, sus repercusiones sociales y medioambientales, etc.

### *7.2 El estudio cualitativo, significativo, de las situaciones problemáticas*

Abordaje que ayude a comprender y acotar dichas situaciones a la luz de los conocimientos disponibles y de los objetivos perseguidos, al tiempo que permita formular preguntas operativas sobre aquello que se busca, lo que supone una ocasión para que los estudiantes comiencen a explicitar funcionalmente sus concepciones.

47

### *7.3 La invención de conceptos y la emisión de hipótesis*

Prácticas fundamentadas en los conocimientos disponibles, susceptibles de focalizar y orientar el tratamiento de las situaciones, al tiempo que permitan a los estudiantes utilizar sus concepciones alternativas para hacer predicciones susceptibles de ser sometidas a prueba.

### *7.4 La elaboración y puesta en práctica de estrategias de resolución*

Diseño y realización de montajes experimentales para someter a prueba las hipótesis a la luz del cuerpo de conocimientos de que se dispone, lo que exige un trabajo de naturaleza tecnológica para la resolución de los problemas prácticos que suelen plantearse, tales como la disminución de las incertidumbres en las mediciones. Llamamos

particularmente la atención sobre el interés de estos diseños y la realización de experimentos que exigen y ayudan a desarrollar la multiplicidad de habilidades y conocimientos. Se rompe así con los aprendizajes mal llamados «teóricos» (en realidad simplemente «librescos») y se contribuye a mostrar la estrecha vinculación ciencia-tecnología.

### 7.5 *El análisis y la comunicación de los resultados*

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

48

### 7.6 *Las recapitulaciones y consideración de posibles perspectivas*

- Conexión de los conocimientos construidos con otros ya conocidos, considerando su contribución a la construcción de cuerpos coherentes de conocimientos que van ampliándose y modificándose. Se presta especial atención al establecimiento de puentes entre distintos dominios científicos, porque representan momentos cumbre del desarrollo científico y, en ocasiones, auténticas revoluciones científicas.
- Elaboración y perfeccionamiento de los productos tecnológicos que se buscaban o que son concebidos como resultado de las investigaciones realizadas, lo que contribuye a romper con tratamientos excesivamente escolares y reforzar, así, el interés por la tarea.
- Planteamiento de nuevos problemas.

Todo ello se convierte en ocasión de manejo reiterado de los nuevos conocimientos en una variedad de situaciones, contribuyendo a su profundización y resaltando en particular las relaciones CTSA que enmarcan el desarrollo científico, con atención a las repercusiones de toda índole de los conocimientos científicos y tecnológicos (desde la contribución de la ciencia y la tecnología al logro de la sostenibilidad, a los graves problemas que hipotecan su futuro), propiciando a este respecto la toma de decisiones, en la forma que ya hemos discutido en el apartado precedente.

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

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

De este modo, se pretende favorecer una cierta inmersión en la cultura científica y tecnológica, fundamental para la formación de ciudadanas y ciudadanos críticos que habrán de participar en la toma de decisiones, e igualmente fundamental para que los futuros científicos logren una mejor apropiación de los conocimientos elaborados por la comunidad científica.

Puede afirmarse, entonces, que la ciencia, cuando no se ve limitada por reduccionismos distorsionantes y empobrecedores, supone una indudable contribución a la formación del espíritu crítico, necesario para no quedar prisioneros de las evidencias y de lo que siempre se ha hecho, y para la toma de decisiones fundamentadas en torno a problemas

que afectan a la humanidad con serias implicaciones éticas. Resulta necesario y posible que la educación científica recupere esta dimensión.

## 8. CONCLUSIÓN

A modo de conclusión evaluaremos la formación científica como fuente de disfrute cultural. Nos hemos referido hasta aquí a las aportaciones de la ciencia al desarrollo histórico de un espíritu crítico liberador y a su posible contribución a la resolución de los problemas con que se enfrenta la humanidad, si se superan planteamientos al servicio de intereses particulares a corto plazo. Y hemos intentado mostrar el interés y la posibilidad de una alfabetización científica que extienda a toda la población ambas cualidades.

Pero quisiéramos, antes de terminar, mencionar una tercera e importante razón para universalizar la alfabetización científica como parte esencial de la educación ciudadana, que va más allá de su utilidad: nos referimos al goce generado por las construcciones científicas que han ampliado nuestra visión del universo, hablándonos de su pasado y de su futuro, ayudándonos a comprender fenómenos que durante milenios espantaron a los seres humanos, contribuyendo a liberarnos de numerosos prejuicios y transmitiéndonos la emoción de apasionantes desafíos.

Para Fensham (2002b), esta capacidad de la ciencia como fuente de placer para sorprender y maravillar, señalaría la orientación más conveniente de una educación científica para todos, dejando de lado lo que él considera ingenua pretensión de preparar a la ciudadanía para participar en la toma de decisiones.

Estamos de acuerdo en la importancia de la educación científica como fuente de placer, pero, como hemos intentado mostrar, la preparación de los ciudadanos y ciudadanas para la toma de decisiones no constituye ninguna ingenua pretensión, sino una necesidad fundamentada. Por otra parte, ¿acaso los mayores goces no están asociados a la acción, más allá de la mera contemplación? Poder participar en la superación de algún desafío, ¿no produce un placer superior al de simplemente conocer lo que otros hicieron? Contribuir, como ciudadanas y ciudadanos responsables, a la orientación de nuestro futuro, ¿no es fuente de pasión y de satisfacciones? El disfrute de la cultura científica es un derecho que es preciso promover en toda su plenitud, a través de

una inmersión que no se limite a una contemplación externa; un derecho que es preciso garantizar en beneficio de toda la humanidad.

Las resistencias a una alfabetización científica de una cierta profundidad, sean cuales fueran las razones esgrimidas, constituyen una nueva barricada de un viejo elitismo, que se ha visto obligado a retroceder desde el rechazo inicial incluso a la alfabetización más elemental: la lecto-escritura (Gil y Vilches, 2001). Las razones ahora esgrimidas tienen, a nuestro entender, la misma y escasa validez.

Digamos, para terminar, que si bien la historia de la ciencia presenta sombras que no deben ser ignoradas, lo mejor de la misma ha contribuido, como ya señaló Langevin (1926), a los movimientos de liberación de los espíritus y de la extensión de los derechos humanos, que tienen como uno de sus principales objetivos la universalización de todas las adquisiciones culturales valiosas de la humanidad. Y éste debe ser el papel de la educación científica, superando reduccionismos y planteamientos elitistas. Éstas son, en síntesis, las razones por las que seguimos reclamando hoy la alfabetización científica de la ciudadanía.

## BIBLIOGRAFÍA

- ATKIN, J. M., y HELMS, J. (1993): «Getting Serious About Priorities in Science Education», en *Studies in Science Education*, n.º 21, pp.1-20.
- BYBEE, R. W. (1991): «Planet Earth in Crisis: How Should Science Educators Respond?», en *The American Biology Teacher*, n.º 53, 3, pp. 146-153.
- (1997): «Towards an Understanding of Scientific Literacy», en W. Gräber y C. Bolte (eds.): *Scientific Literacy*, Kiel, IPN.
- CARSON, R. (1980): *Primavera silenciosa*, Barcelona, Grijalbo.
- COMISIÓN MUNDIAL DEL MEDIO AMBIENTE Y DEL DESARROLLO (1988): *Nuestro futuro común*, Madrid, Alianza.
- DEBOER, G. B. (2000): «Scientific Literacy: Another Look at its Historical and Contemporary Meanings and its Relationship to Science Education Reform», en *Journal of Research in Science Teaching*, n.º 37, 6, pp. 582-601.
- DECLARACIÓN DE BUDAPEST, (1999): *Marco general de acción de la declaración de Budapest*, <<http://www.oei.org.co/cts/budapest.dec.htm>>.

- DIAMOND, J. (2006): *Colapso*, Barcelona, Debate.
- EDWARDS, M.; GIL-PÉREZ, D.; VILCHES, A., y PRAIA, J. (2004): «La atención a la situación del mundo en la educación científica», en *Enseñanza de las ciencias*, n.º 22, 1, pp. 47-63.
- FENSHAM, P. J. (2002a): «Time to Change Drivers for Scientific Literacy», en *Canadian Journal of Science, Mathematics and Technology Education*, n.º 2, 1, pp. 9-24.
- (2002b): «De nouveaux guides pour l'alphabétisation scientifique», en *Canadian Journal of Science, Mathematics and Technology Education*, n.º 2, 2, pp. 133-149.
- FERNÁNDEZ, I.; GIL, D.; CARRASCOSA, J.; CACHAPUZ, A., y PRAIA, J. (2002): «Visiones deformadas de la ciencia transmitidas por la enseñanza», en *Enseñanza de las Ciencias*, n.º 20, 3, pp. 477-488.
- FOUREZ, G. (1997): *Alfabetización científica y tecnológica. Acerca de las finalidades de la enseñanza de las ciencias*, Buenos Aires, Colihue.
- GIL, D.; CARRASCOSA, J.; DUMAS-CARRÉ, A.; FURIÓ, C.; GALLEGO, R.; GENÉ, A.; GONZÁLEZ, E.; GUIASOLA, J.; MARTÍNEZ TORREGROSA, J.; PESSOA DE CARVALHO, A. M.ª; SALINAS, J.; TRICÁRICO, H., y VALDÉS, P. (1999): «¿Puede hablarse de consenso constructivista en la educación científica?», en *Enseñanza de las Ciencias*, n.º 17, 3, pp. 503-520.
- GIL, D., y VILCHES, A. (2001): «Una alfabetización científica para el siglo XXI. Obstáculos y propuestas de actuación», en *Investigación en la Escuela*, n.º 43, pp. 27-37.
- (2003): *Construyamos un futuro sostenible. Diálogos de supervivencia*, Madrid, Cambridge University Press / OEI.
- (2004a): «La contribución de la ciencia a la cultura ciudadana», en *Cultura y Educación*, n.º 16, 3, pp. 259-272.
- (2004b): «¿Es la energía nuclear la solución al cambio climático?», en *Revista Española de Física*, n.º 18, 3, p. 70.
- GIL PÉREZ, D.; VILCHES, A.; EDWARDS, M.; PRAIA, J.; MARQUES, L., y OLIVEIRA, T. (2003): «A Proposal to Enrich Teachers Perception of the State of the World. First Results», en *Environmental Education Research*, n.º 9, 1, pp. 67-90.
- GIL PÉREZ, D.; VILCHES, A.; FERNÁNDEZ, I.; CACHAPUZ, A.; PRAIA, J.; VALDÉS, P., y SALINAS, J. (2005): «Technology as Applied Science: a Serious Misconception that Reinforces Distorted and Impoverished Views of Science», en *Science & Education*, n.º 14, pp. 309-320.
- HICKS, D., y HOLDEN, C. (1995): «Exploring The Future a Missing Dimension in Environmental Education», en *Environmental Education Research*, n.º 1, 2, pp. 185-193.
- HODSON, D. (1992): «In Search of a Meaningful Relationship: an Exploration of Some Issues Relating to Integration in Science and Science Education», en *International Journal of Science Education*, n.º 14, 5, pp. 541-566.
- LANGÉVIN, P. (1926): «La valeur éducative de l'histoire des sciences» en *Bulletin de la Société Française de Pédagogie*, n.º 22, diciembre de 1926.

- MATTHEWS, M. R. (1991): «Un lugar para la historia y la filosofía en la enseñanza de las ciencias», en *Comunicación, Lenguaje y Educación*, n.º 11-12, pp. 141-155.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL (1996): *National Science Education Standards*, Washington, D.C., National Academy Press.
- SHAMOS, M. (1995): *The Myth of Scientific Literacy*, New Brunswick (N. J.), Rutgers University Press.
- SOLBES, J., y VILCHES, A. (1997): «STS Interactions and the Teaching of Physics and Chemistry», en *Science Education*, n.º 81, 4, pp. 377-386.

---

**REVISTA IBEROAMERICANA DE EDUCACIÓN**

**REGRESAR A ÍNDICE N° 42**

**REGRESAR A PÁGINA INICIAL DE LA REVISTA**

**CONTACTAR**