

REVISTA IBERO— —AMERICANA

de Educación

de Educação



Organización
de Estados
Iberoamericanos

para la Educación,
la Ciencia
y la Cultura

NÚMERO 28

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

Enero-Abril 2002 / Janeiro-Abril 2002

TÍTULO: Implicaciones de las relaciones ciencia-
tecnología en la educación científica

AUTOR: Pablo Valdés, Rolando Valdés, Jenaro
Guisasola y Teresa Santos

IMPLICACIONES DE LAS RELACIONES CIENCIA-TECNOLOGÍA EN LA EDUCACIÓN CIENTÍFICA

Pablo Valdés y Rolando Valdés (*)

Jenaro Guisasola ()**

Teresa Santos (*)**

SÍNTESIS: La implicación de la tecnología en la vida cotidiana, en la ciencia y la cultura en general, es enorme y crece cada día. No obstante, hasta ahora la didáctica de las ciencias no le ha prestado suficiente atención a dicha cuestión. En este trabajo se insiste en las razones que hacen necesaria la dimensión tecnológica en la educación científica. Después se examinan ciertos aspectos que pueden contribuir a mejorar la conexión de la enseñanza de las ciencias con la tecnología y con la vida. Por último, se ilustran las principales ideas consideradas mediante ejemplos concretos.

SÍNTESE: *A implicação da tecnologia na vida cotidiana, na ciência e na cultura em geral é enorme e cresce a cada dia. Não obstante, até agora a didática das ciências não tem prestado suficiente atenção a esta questão. Neste trabalho se insiste nas razões que fazem necessária a dimensão tecnológica na educação científica. Depois examinam-se certos aspectos que possam contribuir a melhorar a conexão do ensino das ciências com a tecnologia e com a vida. Finalmente, ilustram-se as principais idéias consideradas por meio de exemplos concretos.*

(*) Profesores del Instituto Superior Pedagógico «Enrique José Varona», Cuba.

(**) Profesor de la Universidad del País Vasco (EHU), España.

(***) Profesora del Centro de Innovación Educativa de San Sebastián, España.

1. INTRODUCCIÓN

En un reciente trabajo, preparado por un considerable número de investigadores en didáctica de las ciencias, se reconoce no haber prestado hasta aquí suficiente atención a la tecnología en la educación científica (Maiztegui, *et al.*, 2002). Es, se señala, «como si la expresión ciencia-tecnología designara un concepto único, asimilado por la educación científica, que hiciera innecesaria la consideración de cualquier aporte específico de la educación tecnológica». En el mencionado trabajo se analizan críticamente las concepciones habituales acerca de las relaciones ciencia-tecnología y, a partir de ahí, se derivan algunas consecuencias para un planteamiento más correcto de la educación científica.

El presente artículo se inserta en esa misma dirección. Nuestra época está reclamando una nueva visión de la educación científica, y parte esencial de ella es la comprensión de la unidad que existe entre las actividades científica y tecnológica (Valdés, Valdés y Macedo, 2001). Comenzaremos por eso insistiendo en las razones que hacen necesaria la dimensión tecnológica en la educación científica, y comentando brevemente algunas de las causas de la falta de atención a dicha dimensión. Luego resaltaremos ciertos aspectos que pueden contribuir a mejorar la conexión de la enseñanza de las ciencias con la tecnología y con la vida, saliendo al paso, a la vez, a algunas concepciones extremas acerca de esta cuestión. Por último, intentaremos ilustrar las ideas consideradas mediante ejemplos concretos.

102

2. ¿PORQUÉ LA NECESIDAD DE PRESTAR ATENCIÓN A LA TECNOLOGÍA EN LA EDUCACIÓN CIENTÍFICA?

Vivimos en una época de profundos cambios socioculturales, originados en buena medida por el desarrollo de la tecnología. Según Bybee (2000), en una encuesta realizada a historiadores y periodistas estadounidenses, la mayoría de los cien titulares considerados por ellos como los más relevantes del pasado siglo corresponden a acontecimientos que están relacionados, directa o indirectamente, con la tecnología.

Esa creciente importancia de la tecnología está dando lugar a que se considere elemento indispensable en la educación de todas las personas, y a que incluso se reclame para ella un área independiente

dentro de los currículos escolares (Gilbert 1995, de Vries y Tamir, 1997). No es de extrañar, pues, que junto al término «alfabetización científica» haya comenzado a utilizarse ampliamente el de «alfabetización tecnológica» (Acevedo, 1995; Barnett, 1995; International Technology Education Association, 2000; Bybee, 2000...). Se trata de una alfabetización que capacite a todos los ciudadanos y ciudadanas no sólo para «comprender» el mundo colmado de productos tecnológicos en que vivimos, sino para «analizarlo críticamente y tomar decisiones», así como para participar en «innovaciones» que den respuesta a las necesidades y demandas de nuestras sociedades.

Sin embargo, la obligación de atender a la tecnología «en la educación científica» va más allá de las consideraciones anteriores; se fundamenta, ante todo, en su «estrecha interrelación con la ciencia». Es cierto que durante milenios la técnica no requirió de la ciencia, pues su desarrollo se basaba sobre todo en la experiencia práctica acumulada, pero también es verdad que desde el siglo XIX comenzó a apoyarse en ella y que dicho apoyo ha continuado creciendo hasta nuestros días. No obstante, este aspecto de la interrelación, que va de la ciencia a la tecnología, ha sido tradicionalmente reconocido —e incluso exagerado— hasta el punto de que muchos interpretan la tecnología como «ciencia aplicada» (Gardner, 1994). Por eso queremos resaltar aquí otro aspecto, menos evidente y casi siempre olvidado en la educación científica: el que va de la tecnología a la ciencia.

En efecto, el enorme progreso experimentado por la ciencia a partir del siglo XVII se debió, en buena medida, al desarrollo de instrumentos tecnológicos (telescopios, microscopios, numerosos instrumentos de medición, variados métodos y procedimientos utilizados en la actividad práctica, etc.); en particular, Galileo fue un científico, y, al mismo tiempo, un constructor de instrumentos e instalaciones, cuestión esta casi siempre olvidada en la educación científica. Desde entonces, la investigación científica ha encontrado en la tecnología medios de trabajo, formas de pensar y el género de problemas que enfrentará más adelante.

Incluso determinadas ideas científicas, en apariencia desvinculadas de la tecnología, como la idea de la evolución de las especies, la noción de campo y otras, son consecuencias de ella. Así, la teoría de la evolución de las especies, cuyo origen usualmente se asocia con los datos que reunió Darwin durante su viaje en el «Beagle», fue deudora de los estudios prácticos realizados por criadores de ganado y cultivadores de

plantas hasta esa época. En su autobiografía, al referirse a la labor que desarrolló tras su regreso a Inglaterra, Darwin escribió: «...Trabajé sobre verdaderos principios baconianos y, sin ninguna teoría, empecé a recoger datos en grandes cantidades, especialmente en relación con productos domesticados, a través de estudios publicados, de conversaciones con expertos ganaderos y jardineros y de abundantes lecturas... Pronto me di cuenta de que la selección era la clave del éxito del hombre cuando conseguía razas útiles de animales y plantas» (Darwin, 1993). En lo que respecta a la noción de campo, se ha argumentado que en ella influyó el descubrimiento del retardo que experimentaban las señales eléctricas cuando eran transmitidas a lo largo de grandes distancias por cables telegráficos subterráneos.

La estrecha interrelación de la ciencia y la tecnología es muy evidente hoy en ciertos campos, como la electrónica, la biotecnología, la ciencia y la ingeniería de materiales y otros, en los que se hace difícil delimitar las contribuciones de una y otra; además, en estos campos algunos científicos hacen tecnología, mientras que algunos tecnólogos funcionan como científicos.

En resumen, la atención a la dimensión tecnológica en la educación científica aparece en nuestros días como requisito indispensable para formar en los estudiantes una imagen más correcta de la actividad científica, y, en particular, una visión de la unidad que constituyen ambas actividades.

Mencionemos otras dos razones que argumentan la importancia de considerar aspectos de tecnología en la educación científica. La primera tiene que ver con la naturaleza misma de la actividad del hombre. Comprensión y acción, teoría y práctica, constituyen dos aspectos de la condición humana, diferenciados, desarrollados e institucionalizados por la sociedad de modo especial en forma de ciencia y tecnología, pero que siempre se presuponen uno al otro. Al resolver problemas de la vida real –incluidos problemas científicos–, invariablemente las personas integran conocimiento formal y experiencia práctica acumulada, pensamiento y acción (Brickhouse, Stanley y Whitson, 1993; Hill, 1998). Esta estrecha vinculación entre ambos aspectos se advierte con claridad en nuestra época, incluso a escala de la sociedad en su conjunto. Basta tener en cuenta que la mayor parte de la ciencia que se hace en la actualidad responde directamente a problemas prácticos, a prioridades tecnológicas; un reflejo de ello es que, según informes de la UNESCO (Nuñez, 1999), desde hace varios años la investigación básica ha pasado a

representar menos de la quinta parte de toda la investigación que se lleva a cabo en los países desarrollados. Lo anterior sugiere que la educación científica debe esforzarse por impulsar en los alumnos un estilo de pensamiento que combine la comprensión y profundización teóricas con la acción y el hacer prácticos, a lo cual, sin duda, puede contribuir la dimensión tecnológica.

La última razón que señalaremos está relacionada con la calidad del proceso de aprendizaje. En efecto, muchos investigadores y educadores coinciden (Hill, 1998; Cajas, 1999; Maiztegui, *et al.*, 2002) en que la conexión del conocimiento científico escolar con los conocimientos y experiencias de la vida diaria de los alumnos, así como con su hacer práctico, contribuye, por un lado, a que dicho conocimiento sea más significativo y más apto para ser utilizado después en diversas situaciones, y, por otro, a que el aprendizaje de las ciencias adquiera mayor sentido y relevancia para ellos. Además, la utilización en sí misma de modernas tecnologías (ordenadores, calculadoras, sensores...) produce una reacción positiva en muchos alumnos.

De este modo, existen razones de diversa índole -sociales, epistemológicas, psicológicas- para considerar la dimensión tecnológica como un aspecto esencial de la educación científica. Pese a ello, hemos de reconocer que hasta ahora se le ha prestado poca atención a esta cuestión. Es suficiente examinar los libros de texto de ciencias comúnmente utilizados, o repasar los trabajos publicados en los últimos años en prestigiosas revistas de educación científica, para advertir la escasa importancia dada al papel de la tecnología «en la educación científica», tanto por autores de libros de texto como por investigadores. Cuando en la didáctica de las ciencias se habla de tecnología, con frecuencia el discurso se reduce casi exclusivamente a las nuevas tecnologías de la información y las comunicaciones (véase, por ejemplo Gabel, 1994; ESERA, 2001). Por otra parte, muchos profesores suelen identificar la educación tecnológica con el uso de los ordenadores, incluso en países de elevado desarrollo tecnológico como Estados Unidos (Bybee, 2000).

Cabe pues preguntarse: ¿por qué esa falta de atención a la tecnología en la educación científica? Creemos que reflexionar sobre esta cuestión es pertinente, por cuanto no deja de parecer sorprendente en nuestra época el escaso interés mostrado hacia la tecnología no sólo por profesores y diseñadores de currículos de ciencia, sino también –como hemos señalado– por los propios investigadores en didáctica de las ciencias. Y aunque la respuesta a la pregunta planteada es compleja, ya

que se trata de una multiplicidad de causas, nos referiremos sucintamente a algunas que nos parecen esenciales.

3. ¿CUÁL ES EL ORIGEN DE LA INSUFICIENTE ATENCIÓN A LA DIMENSIÓN TECNOLÓGICA EN LA EDUCACIÓN CIENTÍFICA?

Comenzaremos por mencionar dos factores, de carácter general e histórico, que nos hacen señalar hoy que la atención a la dimensión tecnológica es insuficiente (véanse por ejemplo Cajas, 2001; Maiztegui, 2002), a diferencia de lo que ocurría hace unos pocos años. Uno de ellos, tal vez el de mayor influencia, es que hasta hace tan sólo unas décadas la implicación de la tecnología en la situación global del mundo, en la actividad científica y en la vida del ciudadano común, era mucho menos notable que en la actualidad. Para percatarse de ello baste pensar, por ejemplo, en lo que han significado para la sociedad, la ciencia y la cultura en general, los desarrollos tecnológicos realizados durante las pasadas dos décadas en el campo de la informática y de las comunicaciones. Dicho con otras palabras, los cambios en la actividad científica y tecnológica a los que asistimos en los últimos tiempos, y su influencia en la sociedad y en la cultura, están sacando a la luz aspectos hasta ahora relegados –e incluso desconocidos– y, en consecuencia, generando nuevas visiones, en particular acerca de la tecnología y sus relaciones con la ciencia (Núñez, 1999).

106

El otro factor está relacionado con el hecho de que no fue sino hasta hace muy poco que la didáctica de las ciencias comenzó a establecerse como un campo específico de conocimientos y de investigación, lo que inevitablemente estuvo precedido por un período de tratamientos fraccionados, incompletos (Gil, Carrascosa y Martínez, 2001). Una expresión de tales tratamientos podría ser la propia falta de atención a la tecnología que hoy estamos reconociendo.

Si tenemos en cuenta los dos factores anteriormente señalados, no resulta tan sorprendente que algunas concepciones que han prevalecido en la educación científica acerca de la tecnología y sus relaciones con la ciencia nos parezcan hoy, después de cierta reflexión, simplistas, parciales, incorrectas en definitiva.

Como se ha señalado por diversos autores (Fernández, *et al.*, 2002), las concepciones epistemológicas incorrectas constituyen uno de

los principales obstáculos para la renovación de la educación científica, y, en general, para considerar aspectos de la vida práctica en la enseñanza de las ciencias (Cajas, 1998 y 1999). Nos detendremos por eso ahora en dos imágenes habituales relativas a la ciencia y a la tecnología, que, en nuestra opinión, tienen implicaciones directas en la falta de atención a esta última en la educación científica.

En una de estas imágenes la ciencia y la tecnología se consideran como algo indiferenciado, lo que se expresa mediante referencias al binomio «ciencia-tecnología» (o para algunos tecnociencia). Tal visión, que se pone de manifiesto casi siempre que se analizan las implicaciones sociales de dichas actividades, corresponde a un estereotipo muy difundido en la sociedad. Pero en modo alguno se trata –subrayamos– de una visión unitaria basada en las estrechas relaciones ciencia-tecnología, en los puntos comunes de ellas, lo cual supondría cierta distinción inicial entre las dos actividades. Se trata de una visión global, pero en extremo «superficial», y, por tanto, que no es a la que debe aspirar la educación «científica». Algunos autores (Gardner, 1994; Acevedo, 1998) han apuntado que incluso muchas propuestas de orientación CTS contribuyen poco a profundizar en las relaciones entre los dos primeros miembros de ese trinomio: la ciencia y la tecnología. Con frecuencia tales propuestas consideran los conocimientos científicos y los productos tecnológicos ya dados y se propone a los estudiantes examinar sencillamente su impacto en la sociedad, con lo cual el proceso que conduce al desarrollo de las ideas científicas y a las innovaciones tecnológicas queda relegado (Gardner, 1994).

La otra imagen a que nos referimos considera las relaciones entre ciencia y tecnología, pero reduce esta a «ciencia aplicada». Tal concepción tiene su origen en la subvaloración de la actividad práctica frente a la intelectual y se desarrolla con especial fuerza a mediados del siglo XX, bajo la bandera del positivismo. Los filósofos positivistas y sus predecesores, los miembros del círculo de Viena, no observaban indicios de teoría formal en la tecnología, y, por tanto, le negaban cualquier dimensión epistemológica o metodológica independiente de la ciencia. Semejante punto de vista fue dominante en múltiples ámbitos, desde la filosofía de la tecnología (de Vries, 1996) hasta la vida político-social (Gardner, 1994), pasando, por supuesto, por la educación (Gardner, 1994; Rennie y Jarvis, 1995; Acevedo, 1998). Sin embargo, como se ha argumentado (Maiztegui, *et al.*, 2002), ella constituye tanto desde el punto de vista histórico como epistemológico, una visión de las relaciones entre la ciencia y la tecnología «reduccionista», «deformada».

La imagen de tecnología como «ciencia aplicada» es muy común en los currículos y libros de texto de ciencia habituales (Gardner, 1994 y 1999). Con frecuencia en ellos la dimensión tecnológica se circunscribe, casi únicamente, a la «explicación del funcionamiento» de ciertos artefactos sobre la base de determinados principios o conceptos científicos. Esto, sin embargo, tiene muy serias limitaciones, algunas de las cuales resumimos brevemente a continuación.

En primer lugar, con ello se desconoce el aspecto histórico de las relaciones entre ciencia y tecnología, y, en particular, el hecho ya mencionado de que la actividad técnica precedió a la ciencia en miles de años. En segundo lugar, se obvian las necesidades humanas que originan los desarrollos tecnológicos, así como la influencia de estos en los modos de vida de las personas, de la sociedad, y en general de la cultura. En tercer lugar, en realidad los productos tecnológicos –incluidos los actuales– pueden haber seguido diversas y complejas vías en su creación y desarrollo, que van desde el apoyo en la experiencia y en la experimentación sin tener en cuenta teorías o principios científicos, hasta una fuerte dependencia de estos principios y teorías, pasando por casos en los que se combinan ambas vías (de Vries, 1996). Por otra parte, la mayoría de los productos tecnológicos constituyen sistemas «complejos», formados por gran diversidad de elementos, algunos de los cuales han sido creados por una vía, en tanto que otros lo han sido por otra (Gardner, 1997).

En relación con este carácter complejo de muchos productos tecnológicos, señalemos una cuestión adicional: obviamente su funcionamiento no puede ser «explicado», teniendo en cuenta un «único» principio o concepto. De este modo, en la enseñanza de las ciencias, más que examinar habitualmente el «funcionamiento» de tales sistemas, lo que se hace es apoyar o ilustrar mediante ellos determinados principios o conceptos de la ciencia. Constituyen ejemplos comunes de lo anterior la consideración de la propulsión a reacción, al estudiar la conservación de la cantidad de movimiento; del transformador, cuando se estudia la ley de inducción de Faraday; de la fotocopidora, durante el estudio de la electrostática...

Por último, es necesario tener en cuenta que en el diseño y construcción de los productos tecnológicos intervienen, además de conceptos y principios científicos, otros muchos factores «no científicos»: materiales disponibles, costos, estética, efectos sobre el ambiente y la sociedad, etc.

Reflexionar críticamente sobre las dos imágenes que hemos señalado y tener presente durante la enseñanza de la ciencia una visión más rica de esta, de la tecnología y de las relaciones entre ellas, ayudaría sin duda a elevar la calidad de la educación científica.

A continuación mencionamos otros factores que, de un modo más o menos directo, están influyendo en la falta de atención a la tecnología en la educación científica: la tradicional baja estima del conocimiento práctico en relación con el académico (Cajas, 1999; Maiztegui, *et al.*, 2002); una visión academicista de las clásicas ramas de la ciencia (física, química, biología...), así como de sus objetos de estudio y métodos de trabajo; la circunstancia de que los profesores de ciencia están habituados a trabajar con situaciones muy simplificadas, idealizadas, y que muchos de ellos carecen de habilidades prácticas (Cajas, 1999); la falta de preparación de elaboradores de currículos y de profesores de ciencia en aspectos de historia y filosofía de la ciencia y la tecnología (Gardner, 1994) y, vinculado a ello, la resistencia al cambio en los libros de texto (del Carmen, 2001).

Insistimos en el hecho de que todos estos factores están relacionados con visiones simplistas, deformadas, de lo que han sido la ciencia, la tecnología y las conexiones entre ellas a lo largo de la historia, y, muy especialmente, de lo que es la actividad científico-tecnológica en la actualidad.

4. CONTRIBUCIÓN DE LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS A FORMAR LA UNIDAD QUE REPRESENTAN LAS ACTIVIDADES CIENTÍFICAS Y TECNOLÓGICAS

Contribuir a formar en los estudiantes esa unidad de la diversidad que constituyen las actividades científicas y tecnológicas sólo es posible apoyándose en conceptos, ideas, métodos de trabajo y actitudes generales, comunes a ambas actividades. También es importante el empleo de medios muy extendidos hoy en la ciencia y la tecnología: ordenadores, sensores, sistemas de adquisición de datos...

Una de las ideas centrales para la formación de la mencionada unidad es la de la «naturaleza social» de la ciencia y la tecnología, el hecho de que, como toda actividad social, están condicionadas por factores económicos, políticos, éticos, culturales, y, a su vez, que tienen

profundas repercusiones en esos ámbitos. Esta dimensión social y humanista es a la que sobre todo –pero a veces exclusivamente– ha prestado atención la orientación CTS en la enseñanza de las ciencias. Sin embargo, otros conceptos e ideas, así como ciertos métodos de trabajo y actitudes que también tienen gran importancia para formar la unidad entre ellas, han encontrado mucho menor reflejo en la educación científica.

Ejemplos de tales «conceptos» son (National Research Council, 1996; International Technology Education Association, 2000; Cajas, 2001): sistema, cambio (en sus diferentes acepciones de proceso, transformación), modelo, diseño, transmisión de información, entrada y salida, control. Entre las ideas referidas se encuentran la de la diversidad y unidad del mundo y la de dependencia entre las propiedades y funciones de los sistemas respecto a la estructura de ellos.

Ejemplos de «métodos y formas de trabajo» generales son (Guisasola, 1997; Valdés, Valdés y Macedo, 2001; Maiztegui, *et al.*, 2002): comenzar el estudio de la cuestión considerada por su análisis cualitativo, global y desde múltiples perspectivas, y con la valoración de su interés y posibles repercusiones; la búsqueda de información en diversas fuentes y la formulación de preguntas o problemas; el planteamiento y la argumentación de hipótesis para la solución de los problemas; el planeamiento de estrategias de solución, el diseño de sistemas y procesos y la experimentación con ellos; la evaluación de los resultados obtenidos y su optimización; la consideración de posibles repercusiones sociales, de otras aplicaciones y el planteamiento de nuevas interrogantes y problemas; la síntesis del estudio realizado y la elaboración de resúmenes, esquemas e informes; la comunicación de resultados.

Ejemplos de «actitudes» distintivas de la actividad científica y tecnológica son (Furió y Vilches, 1997; Valdés y Valdés, 1999; Maiztegui, *et al.*, 2002): el cuestionamiento continuo y la profundización más allá de la apariencia de las cosas; la búsqueda de coherencia en los resultados obtenidos; los esfuerzos por realizar aportaciones concretas y elaborar productos terminados, útiles a la sociedad; la convicción de que los resultados obtenidos no son nunca definitivos, que están condicionados históricamente y por determinado contexto y restricciones.

Cabe señalar –aunque no nos detendremos en ello, pues no es objeto directo de este trabajo– que muchos de los conceptos, ideas, métodos y actitudes relacionados anteriormente, son también esenciales

en otras esferas de actividad diferentes a la científica o la tecnológica. Por consiguiente, su reflejo en la enseñanza de las ciencias contribuiría a que los estudiantes apreciaran no sólo la unidad de la ciencia y la tecnología, sino, además, la unidad entre estas y otras ramas de la cultura (Valdés, Valdés y Macedo, 2001).

A fin de examinar con un poco más de detalle algunas cuestiones relativas a la unidad de la ciencia y la tecnología en las que estamos insistiendo, fijemos la atención en el tema de la corriente eléctrica y de los circuitos, habitualmente tratado tanto en los cursos de ciencia (véanse, por ejemplo, Oñorbe, *et al.*, 1999; Varela, *et al.*, 2000) como de tecnología (por ejemplo, Silva y Gómez, 1994; Picazo, *et al.*, 1998; Vejo, 1996; Fernández, Vigil y López, 1999). Este es, sin duda, uno de los temas considerados más relevantes al analizar las relaciones CTS.

Lo primero que salta a la vista es la ausencia de relación en el tratamiento de este tema en ambos tipos de cursos. Por lo general, los cursos de ciencia asumen incorrectamente que los alumnos pueden utilizar los conceptos e ideas generales de electricidad estudiados –casi siempre formados a partir de situaciones idealizadas– en situaciones prácticas, mientras que los cursos de tecnología no tienen en cuenta las cuestiones consideradas en los de ciencia, e introducen ellos mismos las nociones que han de utilizar (por ejemplo, Silva y Gómez, 1994; Picazo, *et al.*, 1998; Vejo, 1996; Gonzalo, Rodrigo y López, 1999). Señalemos, además, que el modo en que se tratan algunas de estas nociones en los cursos de tecnología, constituye muchas veces fuente de concepciones equivocadas en los estudiantes: corriente eléctrica como desplazamiento sólo de electrones, como desplazamiento de cargas desde un borne de la batería hasta el otro, como supeditación de la existencia de electrones libres en los conductores metálicos a la acción de un campo eléctrico externo, etc.

Sin embargo, pese a la gravedad de esta falta de coordinación entre los cursos de ciencia y de tecnología, nuestro propósito principal es llamar la atención sobre algo que, en nuestra opinión, es todavía de peores consecuencias: ni unos ni otros cursos suelen tener como objetivo fundamental la formación en los alumnos de conceptos, ideas, métodos de trabajo y actitudes como los ejemplificados anteriormente, esenciales en la actividad científico-tecnológica contemporánea y en general en la vida moderna.

Así, al considerar los circuitos eléctricos, tanto unos cursos como otros casi siempre ponen el principal énfasis en el estudio de las asociaciones en serie y paralelo de dispositivos, la ley de Ohm y la realización de cálculos relacionados con estas cuestiones, y, en cambio, ciertos aspectos más generales que propician la conexión con otras ramas de la ciencia y la tecnología, son ignorados.

Nos apresuramos a señalar, sin embargo, que no estamos insinuando que el estudio de tales cuestiones en los cursos de ciencia no tenga interés. En particular, no pensamos, como se ha sugerido (Cajas, 2001), que la asociación de dispositivos en serie y paralelo, y mucho menos el concepto de circuito eléctrico, sean tópicos difíciles de justificar desde la perspectiva de la alfabetización científica. Es cierto que, como afirma Cajas (2001), pocos niños y jóvenes van a necesitar conocimiento especializado en circuitos eléctricos durante su vida adulta. A esto pudiéramos añadir más: por ejemplo, que es imposible reducir muchos circuitos a simples asociaciones en serie y paralelo, y que la inmensa mayoría de los actuales dispositivos eléctricos no son óhmicos. Y claro está que tales realidades, junto a la creciente importancia de conceptos, ideas, métodos de trabajo y actitudes como los que hemos resaltado, deben movernos a reflexionar acerca del modo en que tradicionalmente hemos tratado dichas cuestiones en los cursos de ciencia. Pero ello no significa que tales cuestiones no tengan importancia para la alfabetización científica, sino que deben ser examinadas desde una óptica diferente. Nos detendremos algo en esto.

Consideremos el concepto de circuito eléctrico. El más simple, pongamos por caso el de una linterna, es portador de los elementos básicos de todo circuito: a) generador o fuente, en el cual se modifica energía de determinadas formas en energía eléctrica; b) receptores, en los que se transforma la energía de eléctrica en otras formas; c) dispositivos de transmisión, y d) dispositivos de control. En un circuito estos componentes están conectados entre sí formando una trayectoria cerrada.

En un mundo colmado de circuitos eléctricos, un concepto como ese debe formar parte de la cultura de todo ciudadano. Ello contribuye a comprender y examinar una gran variedad de situaciones de la vida cotidiana, de la ciencia y de la tecnología.

Algo similar cabe decir de las asociaciones en serie y paralelo de dispositivos y de la ley de Ohm. Las primeras son elementales, pero hacen

posible comprender innumerables situaciones reales que se dan en la casa, en la escuela, en la comunidad. A su vez, la ley de Ohm, aparte de que se cumple en algunas situaciones de la vida diaria, contribuye a ilustrar una regularidad general, válida para todos los receptores eléctricos: la intensidad de corriente en ellos (y la energía que por unidad de tiempo se transforma de eléctrica en otras formas) depende de dos factores, el voltaje aplicado a sus terminales, y ciertas características eléctricas propias del receptor. Por supuesto, dicha ley debiera tratarse desde este punto de vista, es decir, como un caso particular de la conclusión anterior, cuando la resistencia eléctrica del dispositivo es constante, cosa que no suele hacerse ni en los cursos de ciencia ni en los de tecnología.

Por otra parte, los circuitos eléctricos pueden ser examinados desde la perspectiva de conceptos e ideas aún más generales como los ya citados: sistema, cambio (proceso, transformación), transmisión de información, entrada y salida, control, unidad de la diversidad, etc.

Una situación similar a la que hemos descrito en el caso del tema de la corriente eléctrica y los circuitos, en la que no se consideran las cuestiones estudiadas desde una perspectiva más general que propicie la conexión con otras ramas de la ciencia, la tecnología y la vida, tiene lugar también durante el tratamiento de otros temas. Por consiguiente, el reclamo de que la educación científica contribuye en mayor medida a la preparación de los alumnos para la vida es absolutamente necesario. No obstante, nos parece oportuno advertir sobre el peligro de que ciertos esfuerzos en este sentido vayan a traducirse en interpretaciones simplistas, extremas, digamos: no se precisa estudiar el concepto de circuito, las asociaciones en serie y paralelo de dispositivos, la ley de Ohm, ya que la mayoría de los alumnos no requerirá conocimientos especializados sobre estos temas.

La urgencia de preparar a los estudiantes para la vida, para la toma de decisiones y para la transformación del mundo que les rodea, no puede llevarnos a que cuestiones que representan importantes conquistas de la ciencia pero cuyo estudio no tiene repercusiones prácticas directas, sean valoradas como no aptas para la alfabetización científico-tecnológica. Semejante línea de razonamiento pudiera conducirnos a la conclusión de que en la educación general tampoco es necesario estudiar temas relativos al micromundo, a nuestro sistema planetario, al universo u otros similares.

En relación con lo anterior, no debemos olvidar lo que han significado ciertos resultados de la investigación fundamental, inicialmente sin implicaciones prácticas, para diversos desarrollos tecnológicos (puesta en órbita de satélites, microelectrónica, comunicaciones...). Además, ha de tenerse presente que, junto al anhelo de satisfacer determinadas necesidades prácticas, otra característica esencial del ser humano, desarrollada y organizada precisamente por la ciencia, es la curiosidad, el afán de «comprender» cada vez más profundamente el mundo que le rodea –natural y creado por otros seres humanos– y disfrutar con ello. Educar a los estudiantes en estas cuestiones también es prepararlos para la vida.

Esa contribución de la ciencia –y de la educación científica– a la cultura general y al disfrute, independientemente de su repercusión práctica inmediata, ha sido subrayada por relevantes instituciones y personalidades científicas. Así, en los National Science Education Standards de Estados Unidos, editados por el National Research Council (1996), se afirma: «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*» (la cursiva es nuestra).

Por su parte, León Lederman, laureado con el premio Nobel, en calidad de coordinador del Committee for Capacity Building del International Council of Scientific Unions ha dicho: «Sin embargo, la influencia de los descubrimientos científicos sobre los seres humanos es profunda: por ejemplo, que la Tierra es uno de los 10 planetas que circulan alrededor de uno de los 100 billones de soles que constituyen una mediocre galaxia, o que la creación tuvo lugar hace probablemente 10 billones de años, o que las características humanas y la evolución están determinadas por la genética, es decir, por procesos moleculares sujetos a las leyes de la física y la química. Este es el mundo que nosotros los humanos habitamos. Lleno de belleza y de misterio. Todos los niños deben conocer estas cosas también...» (Lederman, 1998).

En el apartado siguiente intentaremos ilustrar, mediante ejemplos concretos, cómo tener más en cuenta algunos aspectos esenciales de tecnología en la enseñanza de las ciencias.

5. ASPECTOS DE TECNOLOGÍA EN LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS: EL TEMA DE LA CORRIENTE ELÉCTRICA Y LOS CIRCUITOS COMO EJEMPLO

Nuestro principal objetivo en este apartado es resaltar ciertas ideas que, al considerarlas en la enseñanza de las ciencias, pueden contribuir a enriquecer su relación con la tecnología y con la vida diaria de los alumnos, pero a las cuales no se les ha prestado la debida atención.

Suponemos que los alumnos han adquirido ya, por ejemplo en una unidad introductoria (Valdés y Valdés, 1999; Azkona, et al., 1997), cierta visión «global», aunque sea superficial, de lo que estudian las ciencias naturales, y que, por tanto, conocen que todo en el universo, desde los objetos celestes hasta los cuerpos que les rodean (ya sean inanimados o animados), está organizado formando «sistemas» (conjunto de elementos estrechamente vinculados entre sí que constituyen unidades relativamente independientes); y que las diversas ramas de las ciencias naturales estudian determinados sistemas y los *cambios* que tienen lugar en ellos. Asimismo, supondremos que poseen algunas nociones acerca de la finalidad fundamental de la ciencia («profundizar en el conocimiento» de diferentes sistemas y en los cambios que tienen lugar en ellos, con el propósito de satisfacer determinadas necesidades humanas, prácticas y espirituales) y de la tecnología («diseñar y elaborar» sistemas y procesos, con el propósito de satisfacer determinadas necesidades humanas «del modo más eficiente posible»).

115

Para mayor claridad, comentaremos de forma separada las ideas que nos interesa resaltar. Continuaremos tomando como ejemplo, fundamentalmente, el tema de los circuitos eléctricos.

5.1 LA CIENCIA MODERNA ESTÁ INMERSA EN LA INSTRUMENTACIÓN TECNOLÓGICA

En la electricidad, como rama de la física, se hace muy evidente esta «inmersión de la ciencia en la instrumentación tecnológica» (Ihde, 1997), es decir, en un mundo creado por los hombres.

Así, para el establecimiento de las leyes de Newton y de la ley de gravitación, fueron imprescindibles innumerables observaciones astronómicas previas, realizadas mediante telescopios; pero estos instrumentos se utilizaban a fin de estudiar y describir fenómenos que tenían lugar en «un mundo natural». Algo similar puede decirse respecto a la

instrumentación durante el desarrollo inicial de ramas de las ciencias como la Biología y la Química. Sin embargo, el primer circuito eléctrico construido por Volta, la desviación de una aguja magnética debido a una corriente eléctrica (experimento de Oersted) y el fenómeno de la inducción electromagnética (experimentos de Faraday), bases sobre las cuales se erigió el electromagnetismo, resultaron fenómenos que, más que *estudiados por medio* de determinada instrumentación, fueron «originales mediante ella», y, por tanto, correspondieron a «un “mundo” creado por el hombre». Por eso, en el caso de la electricidad, como en otros muchos, más que de la *utilización* de determinada instrumentación para estudiar ciertos fenómenos, corresponde hablar acerca de la *inmersión* de la ciencia en dicha instrumentación.

La profundidad con que se trate una cuestión como la anterior depende del nivel de enseñanza y de la preparación de los estudiantes. Pero lo que sí está al alcance de todos es la distinción entre el mundo natural y el creado por los hombres o tecnológico.

5.2 EXISTE UN MUNDO NATURAL Y UN MUNDO CREADO POR LOS HOMBRES

116

Para que los alumnos tomen conciencia de lo que ha representado esta rama de la ciencia y la tecnología en la creación de un «mundo diseñado» por los hombres (International Technology Education Association, 2000), conviene hacerles pensar en el hecho de que hace sólo dos siglos no existían ni siquiera variantes primitivas de ninguna de las instalaciones, equipos y procesos relacionados con la electricidad, a los cuales estamos hoy tan habituados: el primer circuito eléctrico fue construido por Volta en el año 1800.

Pueden profundizar en esta idea, confeccionando (o examinando) una relación de importantes descubrimientos e invenciones relacionados con la electricidad. A continuación proporcionamos un listado con algunos de ellos.

El examen por los alumnos de una relación como la anterior al iniciar el estudio del tema, y la búsqueda de información (en enciclopedias, documentos, Internet...) sobre la historia de algunos de los descubrimientos e invenciones y lo que han representado para la humanidad, el país y la comunidad, contribuye a motivarlos y a crear un contexto

Algunos importantes descubrimientos e invenciones vinculados a la electricidad

<i>Batería eléctrica, primer circuito, 1800</i>
Lámpara de arco, 1801 (comercialización, 1858)
<i>Acción de la corriente eléctrica sobre una aguja magnética, 1820</i>
Idea del telégrafo, 1820 (primer equipo telegráfico, 1837; primera transmisión, 1844)
Idea del motor eléctrico, 1821 (motor efectivo, 1829)
Timbre eléctrico, 1831
<i>Corriente inducida, 1831</i>
Dínamo, 1855
Altavoz, micrófono y teléfono 1875-76
Lámpara incandescente efectiva, 1879
Primeras centrales eléctricas, 1880s
<i>Generación y recepción de ondas electromagnéticas, 1888</i>
Telégrafo inalámbrico, 1895
<i>Control de un haz de electrones en un tubo de vacío, 1897</i>
Primeras válvulas de vacío, 1904-1906
Secador de pelo eléctrico, 1905
Comunicación de voz a través de la radio, 1906 (primera transmisión regular, 1920)
Idea del televisor, 1928 (primer servicio público, 1936)
Guitarra eléctrica, 1932
Radar, 1935
Primera computadora digital electrónica para cálculos, 1945
<i>Transistor, 1948</i>
Primer ratón de computadora, 1968 (comercialización, 1983)
Microprocesador, 1971
Computadora personal, 1975
Teléfono móvil, 1983
Interconexión de redes locales de computadoras entre sí (Internet), finales de 1980s

adecuado para el planteamiento de posibles cuestiones en las cuales profundizar a lo largo del tema.

5.3 LOS PRODUCTOS TECNOLÓGICOS NO SON «CIENCIA APLICADA»

En el listado anterior hemos resaltado con cursiva aquellos resultados considerados por lo general como propiamente científicos, o, al menos, muy directamente vinculados al desarrollo de ideas científicas básicas, aunque, como ya hemos señalado, están impregnados de tecnología (lo que se hace más notable a medida que avanzamos en las fechas). El resto del listado está formado por resultados asociados casi siempre a la tecnología. Ha de insistirse con los alumnos en que, si bien en estos últimos están presentes una o varias de las ideas científicas resaltadas, ellos no pueden ser considerados una simple aplicación de tales ideas.

Por supuesto que los resultados científicos muchas veces sugieren nuevos modos de hacer ciertas cosas, e incluso sugieren otras en las que hasta entonces no se ha pensado, pero esto no quiere decir que el producto tecnológico derive directamente de ellos. En parte porque las motivaciones de los «científicos» no suelen ser las mismas que las de los inventores: los primeros acostumbran estar más interesados en profundizar en ciertas ideas y comprender mejor algo que en la satisfacción de determinadas necesidades prácticas, mientras que en los segundos sucede a la inversa. Pero, sobre todo, porque los inventos tecnológicos tienen determinada prehistoria: necesidades humanas que han ido evolucionando, otras invenciones que los precedieron, conocimientos y experiencia práctica de muy diversa índole acumulada, etc. Por tanto, si bien los resultados científicos son muy importantes para los desarrollos tecnológicos, los factores anteriores también lo son.

Así, por ejemplo, la desviación de una aguja magnética por una corriente eléctrica, por sí misma, no sugiere su utilización para la comunicación a distancia entre las personas. Se advirtió esta posibilidad sólo porque la comunicación a distancia era una necesidad creciente, y ya se habían desarrollado antes otras formas de telegrafía, sonora y visual, en las cuales se empleaban determinados códigos; también se habían construido baterías de potencia considerable, largos conductores y otros dispositivos.

En particular, el código Morse, decisivo en la telegrafía y cuyo empleo ha perdurado hasta nuestros días, no es un resultado científico,

sino de la tecnología de las comunicaciones. La referencia al código Morse pudiera ser aprovechada para insistir en que los productos tecnológicos no se reducen a artefactos; en este caso, por ejemplo, el producto es un modo de representar información.

Otra invención cuyo análisis puede ser de interés es la de la lámpara de filamento incandescente, la cual constituyó una respuesta a la creciente necesidad que había de obtener mejores condiciones de iluminación. Inmediatamente después de la construcción de los primeros circuitos eléctricos se conoció ya la posibilidad de generar calor y luz a partir de ellos (por ejemplo, con la lámpara de arco se experimentó en 1801); no obstante, la primera bombilla eléctrica efectiva se inventó en 1879 por Tomás Edison. Pese a que Edison fue un inventor de condiciones excepcionales y que poseía vastos conocimientos y experiencia práctica, tuvo que realizar innumerables ensayos y desestimar muchas variantes antes de llegar al resultado deseado. Ello muestra —reiteramos— que el producto tecnológico no es la simple aplicación de resultados científicos.

Los productos tecnológicos basados en las invenciones que aparecen en la tabla no pueden ser considerados «ciencia aplicada», porque tras la invención inicial han experimentado hasta nuestros días una larga historia de constantes innovaciones y mejoras, durante las cuales muchas veces las ideas propiamente científicas no han desempeñado ningún nuevo papel, en tanto que la elevación de la eficiencia, su adaptación para satisfacer otras necesidades, la disminución de los costos, el empleo de nuevos materiales, los aspectos estéticos, etc., han continuado demandando gran creatividad y muchos esfuerzos. Así, en cualquier motor eléctrico la idea científica básica que está presente es la misma que en el experimento de Oersted, pero después de la construcción del primer motor, en 1829, la labor de ingeniería que se ha realizado para su perfeccionamiento y diversificación ha sido inmensa.

A fin de ahondar en las ideas anteriores, los alumnos pueden buscar información sobre la evolución de algunos de los productos tecnológicos del listado confeccionado, prestando especial atención a las necesidades y deseos que cada nueva etapa de su desarrollo ha contribuido a satisfacer, a sus antecedentes, a su influencia positiva y negativa en el ambiente, en la sociedad, en el modo de vida de las personas, y, en general, en la cultura. El énfasis sobre tales cuestiones ayudaría a esclarecer la naturaleza de la tecnología (Solomon, 1998). Gran interés tiene en este sentido recorrer la evolución, por ejemplo, de la computadora digital electrónica (Valdés y Valdés, 1994a).

5.4 NECESIDAD DE UTILIZAR LOS CONCEPTOS CIENTÍFICOS EN CONTEXTOS PRÁCTICOS

Hemos mencionado ya la creencia errónea de que los conceptos e ideas aprendidos en una forma generalizada, pero a partir de situaciones ideales, pueden ser utilizados, sin más, en contextos prácticos. No obstante, diversos autores (Talizina, 1988; Levison, Murphy y McCormick, 1997; Cajas, 1999) han señalado las serias dificultades que confrontan los alumnos para realizar la transferencia de un tipo de contexto a otro. Algunas investigaciones sugieren (Talizina, 1988) que la razón de ello está en el obstáculo que representa apreciar lo general en situaciones específicas, en las cuales aparece entrelazado con otros muchos aspectos, e incluso enmascarado por ellos. Para superar estas dificultades, algunos proponen (Levison, Murphy y McCormick, 1997) formar los conceptos e ideas directamente en contextos específicos, no idealizados.

En nuestra opinión, un enfoque más correcto consiste en combinar bien ambos procederes: partir de situaciones simplificadas más o menos idealizadas para apreciar con mayor claridad lo general (lo que en cierta medida ha hecho tradicionalmente la enseñanza de las ciencias), pero no quedarse ahí, sino utilizar después los conceptos e ideas en diversas situaciones específicas (lo que casi nunca se hace en la enseñanza de las ciencias).

Así, por lo general, en los circuitos empleados en las clases de ciencia –y a veces también en las de tecnología– los receptores utilizados son sólo bombillas o resistores, y estos últimos suelen ser diferentes a los habituales; los dispositivos de transmisión, cables con conectores en sus extremos; los interruptores, del tipo «cuchilla»; y la forma de asociar los receptores, en serie o paralelo. Además, los diferentes elementos se colocan en receptáculos utilizados al efecto y todo se dispone de forma que el circuito puede seguirse claramente. Esta simplificación, como hemos señalado, permite fijar mejor la atención al iniciar el estudio del tema, en una serie de aspectos esenciales; no obstante, tiene el inconveniente de que en la tecnología y en la vida diaria las instalaciones y sus componentes son diferentes y más complejos. De ahí que el trabajo inicial con tales circuitos ha de ser complementado con el análisis de dispositivos y sistemas más próximos a los que realmente se utilizan en la práctica, y el trabajo de los alumnos con algunos de ellos.

Lo dicho en el párrafo anterior es extensible al estudio de ciertos mecanismos considerados con frecuencia en las clases de ciencia:

generador de inducción, zumbador, relé electromagnético, etc. Por ejemplo, entre el generador de inducción utilizado en las clases de ciencia para ilustrar el principio de su funcionamiento y un generador real tan simple como una dínamo de bicicleta, existe una notable diferencia, y lo mismo sucede en otros casos. El estudio de tales dispositivos debe ser completado, por tanto, con el análisis de algunas de sus variantes utilizadas en la práctica.

En resumen, los alumnos deben relacionarse, en mayor o menor medida, dependiendo del nivel de enseñanza de que se trate y de los objetivos del curso, con la diversidad en que aparecen los circuitos y sus componentes en la vida diaria. Por ejemplo, con variados modos de conectar los dispositivos entre sí: utilizando cables, sin necesidad de ellos (como en algunas linternas), empleando líneas conductoras como en las placas (tarjetas) impresas; con múltiples variantes de interruptores: modelos usados en el alumbrado y en diferentes equipos, relés electromagnéticos, transistores, así como con otros tipos de receptores diferentes a los resistores y a las bombillas.

Para finalizar con el comentario de este punto, señalemos otro aspecto que tiene gran importancia al conectar la enseñanza de las ciencias con la tecnología y con la vida diaria: la necesidad de relacionar a los alumnos con valores característicos de las magnitudes básicas estudiadas. En el caso de los circuitos eléctricos tales magnitudes son: intensidad de corriente, voltaje y potencia.

5.5 ANÁLISIS DEL OBJETO DE ESTUDIO DESDE LA PERSPECTIVA DE LOS CONCEPTOS DE SISTEMA Y CAMBIO

Como señalamos al comenzar el apartado, suponemos que los alumnos están relacionados con la idea de que todo en el universo está organizado en forma de «sistemas» y que en ellos tienen lugar «cambios». No es difícil considerar los circuitos eléctricos desde esta perspectiva. Ya en los más simples puede verse que representan una unidad formada por un conjunto de elementos estrechamente vinculados entre sí: fuente, receptores, dispositivos de transmisión y dispositivos de control. Cada uno de estos elementos puede ser considerado a su vez como un sistema, por lo que la conexión de todos ellos entre sí constituye uno de mayor complejidad. Por otra parte, en las instalaciones eléctricas tienen lugar cambios, en particular transformaciones de energía: de determinadas formas en eléctrica y luego, en los receptores, de esta en otras formas.

El examen de los circuitos desde la perspectiva anterior es útil en un doble sentido. Por una parte, porque contribuye a formar en los estudiantes la unidad que representan la ciencia, la tecnología y otras ramas de la cultura, pero, por otra, porque puede ayudarles a interpretar múltiples situaciones concretas. En efecto, diversas investigaciones han mostrado que una de las principales causas de las dificultades confrontadas por los estudiantes –tanto de secundaria como de universidad– al analizar los circuitos es, precisamente, que no utilizan un razonamiento «sistémico» (Salinas, Cudmani y Pesa, 1996), sino, por el contrario, localizado en cierta parte (Manrique, Varela y Favieres, 1989; Pontes y de Pro, 2001). No tienen en cuenta que los cambios ocurridos en una parte, generalmente afectan a todo el sistema.

No obstante, si aspiramos a relacionar la enseñanza de las ciencias con la tecnología y con la vida moderna, entonces no basta con interpretar lo que sucede en un circuito al variar el voltaje, añadir o suprimir bombillas y resistores, etc.; se requiere ir más allá y examinar sistemas que cumplan «determinadas funciones», que satisfagan ciertas necesidades. Desde esta perspectiva, también es importante considerar los conceptos de entrada (*input*), salida (*output*) y control.

5.6 ATENCIÓN A TRES ASPECTOS BÁSICOS EN EL FUNCIONAMIENTO DE LOS SISTEMAS: ENTRADA, SALIDA Y CONTROL

No estamos sugiriendo que los conceptos de entrada, salida y control se introduzcan por primera vez durante el estudio de los circuitos eléctricos; ello puede haberse hecho en otros momentos, o en el curso de tecnología, pero sí nos parece importante que sean utilizados en este tema.

Los alumnos deben advertir que, a diferencia de los sistemas inanimados (átomos, moléculas, sistema solar, galaxias...), los creados por el hombre están concebidos para satisfacer determinadas «necesidades y deseos», cumplen ciertas «funciones». Conviene recordar que en el caso de los sistemas vivos y de los subsistemas que los integran, también se habla de las «funciones» que realizan, las cuales están igualmente vinculadas a la satisfacción de ciertas necesidades. De este modo, el «funcionamiento» de los sistemas, tanto vivos como diseñados por el hombre, consiste en procesos y transformaciones, es decir, en cambios, pero que responden a determinadas necesidades o deseos. Así, se habla del funcionamiento de los sistemas digestivo, respiratorio, circulatorio,

rio...; del funcionamiento de la plancha eléctrica, del televisor, la computadora...; del funcionamiento de cierto *software*, de determinados sistemas de transportación, comunicación, etc.

Después de reflexionar sobre cuestiones como las anteriores, pueden puntualizarse tres aspectos que casi siempre distinguen el «funcionamiento» de los sistemas: «entrada» (materia prima, combustible, señal eléctrica...), «salida» o resultado del funcionamiento del sistema (elevación de temperatura, luz, movimiento, cierto producto...), y «control». Utilicemos otra vez como ejemplo simple el de la linterna: la entrada puede considerarse la energía eléctrica proporcionada por las pilas; la salida, la luz que emite la bombilla; y el control, el encendido y apagado que realizamos mediante el interruptor.

El control desempeña un papel importantísimo en el funcionamiento de los sistemas. Puede ser simplemente de «orden o mando», como en los interruptores habituales (encendido, apagado); de «protección», como en el caso de los fusibles (si la corriente es superior a determinado valor permitido, el circuito se abre); pero su forma más avanzada es la «regulación». Ella es esencial para el funcionamiento correcto tanto de los sistemas vivos (contracción o dilatación de la pupila dependiendo de la cantidad de luz que llega al ojo, sudoración a partir de determinada temperatura del medio...), como de la inmensa mayoría de los sistemas tecnológicos con que nos relacionamos cotidianamente (olla de presión, plancha eléctrica, aire acondicionado, computadora...).

123

En una plancha eléctrica, por ejemplo, la entrada es la energía eléctrica, la salida la elevación de temperatura, y el dispositivo de control un termostato. La función del termostato es mantener la temperatura de la plancha cercana a cierto valor: cuando la temperatura alcanza uno determinado, el termostato desconecta la entrada y luego, al descender la temperatura hasta cierto nivel, la conecta nuevamente. En este caso la regulación tiene lugar mediante una de las vías más importantes, la realimentación (la información de la salida es utilizada para modificar la entrada, con lo cual se regula la propia salida).

Los conceptos de entrada, salida y control contribuyen a conectar el tema de los circuitos eléctricos con otros de ciencia y tecnología y con la vida práctica, pero, además, ayudan a comprender el funcionamiento de sistemas complejos al considerarlos como varios sistemas simples acoplados entre sí.

5.7 INTERPRETACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DE SISTEMAS COMPLEJOS COMO EL DE VARIOS SISTEMAS SIMPLES ACOPLADOS ENTRE SÍ

Hemos señalado ya que para lograr que los alumnos relacionen el tema de los circuitos eléctricos con la tecnología y con la vida moderna se requiere no sólo interpretar qué ocurre en ellos al modificar voltajes y resistencias, sino también examinar los dispositivos que los integran desde la óptica de las «funciones» que desempeñan.

El relé electromagnético es un ejemplo de dispositivo simple que cumple importantes funciones en la tecnología y en la vida práctica, y que, por tanto, pudiera ser analizado durante el estudio de los circuitos eléctricos en las clases de ciencia. En particular, permite acoplar dos o más circuitos, dando lugar a un sistema de mayor complejidad. En el circuito del electroimán la entrada es la corriente eléctrica producida, digamos, al cerrar un interruptor, y la salida, la acción del electroimán sobre los contactos del relé. Esta salida puede ser considerada, a su vez, como la entrada del segundo circuito, cuya salida será, por ejemplo, el encendido de una bombilla, el funcionamiento de un motor, etc.; así el relé hace posible accionar un circuito de gran potencia por medio de otro de pequeña potencia.

El transistor es otro de los dispositivos mediante el cual se acoplan dos o más circuitos y que, como ya hemos sugerido, también debe ser considerado en el curso de ciencias. En niveles elementales, por supuesto, no se trata de estudiarlo desde el punto de vista electrónico, pero sí de examinar sus «funciones» principales: interruptor, amplificador, control.

Un caso de particular interés en el que se aprecian las funciones mencionadas del transistor es el de circuitos diseñados para detectar, mediante sensores, determinado nivel de alguna magnitud física (intensidad luminosa, temperatura, intensidad sonora, humedad...) (véanse, por ejemplo, Levinson, *et al.*, 1997; Valdés, Valdés y Clavelo, 1998). Semejante circuito puede ser interpretado, básicamente, como el acoplamiento de otros tres más simples: uno, en que el sensor dado se conecta en serie con un resistor, para dar lugar así a un «divisor de voltaje»; otro, formado por el circuito base-emisor del transistor; y el tercero, constituido por el circuito colector-emisor, en el cual es posible intercalar diferentes dispositivos: una bombilla, un zumbador, determinado puerto de un ordenador, etc. La entrada es el cambio en el nivel de la magnitud física considerada, y la salida, dependiendo del dispositivo

intercalado, el encendido de la lámpara, el sonido del zumbador, un cambio en el valor del *byte* asociado al puerto del ordenador... La función de control del transistor –en este ejemplo el mando– se pone de manifiesto en el hecho de que el sistema produce una salida únicamente para determinado nivel de la entrada.

El trabajo de muchos años con estudiantes de bachillerato y primeros años de universidad (Valdés y Valdés, 1994b; Valdés, Valdés y Clavelo, 1998; Guisasola, *et al.*, 1999) nos ha confirmado las ventajas de analizar los sistemas, en particular los eléctricos, poniendo énfasis en las funciones que desempeñan, en los conceptos de entrada, salida y control, así como en la conveniencia de interpretar el funcionamiento de sistemas relativamente complejos, considerándolos como varios sistemas simples acoplados entre sí.

BIBLIOGRAFÍA

ACEVEDO, J. A. (1995): «Educación tecnológica desde una perspectiva CTS. Una breve revisión del tema», en: *Alambique*, núm. 3, pp. 75-84.

— (1998): «Análisis de algunos criterios para diferenciar entre ciencia y tecnología», en: *Enseñanza de las Ciencias*, núm. 16 (3), pp. 409-420.

AZCONA, R.; ETXANIZ, M.; GUIASOLA, J., y MUJICA, E. (1997): *Ciencias de la Naturaleza, ESO 3*. San Sebastián, Erein.

BARNETT, M. (1995): «Literacy, technology and “technological literacy”», en: *International Journal of Technology and Design Education*, núm. 5 (2), pp. 119-137.

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

BRICKHOUSE N.; STANLEY W., y WHITSON, J. (1993): «Practical reasoning and science education: implications for theory and practice», en: *Science & Education*, núm. 2, pp. 363-365.

CAJAS, F., (1998): «Using out-of-school experience in science lessons: an impossible task?», en: *International Journal of Science Education*, núm. 20(5), pp. 623-625.

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

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

CARMEN, L. del (2001): «Los materiales de desarrollo curricular: un cambio imprescindible», en: *Investigación en la Escuela*, núm. 40, pp. 51-56.

DARWIN, CH. (1993): *Autobiografía*. Madrid, Alianza, S. A., p. 66.

ESERA (2001): «Science education research in the knowledge based society», en D. Psillos *et al.* (ed.): *Proceedings of the Third International Conference*, vol. I y II. Tesalónica.

FERNÁNDEZ, I.; GIL, D.; VILCHES, A., y VALDES, P. (2002): *La superación de las visiones deformadas de la ciencia y la tecnología: un requisito esencial para la renovación de la educación científica*. La Habana, Academia (en prensa).

FURIÓ, C., y VILCHES, A. (1997): «Las actitudes del alumnado hacia las ciencias y las relaciones ciencia, tecnología y sociedad», en L. del Carmen (coord.): *La enseñanza y aprendizaje de las ciencias de la naturaleza en la educación secundaria*. Horsori, Barcelona, ICE.

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

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

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

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

GIL, D.; CARRASCOSA, J., y MARTÍNEZ, F. (2001): «Una disciplina emergente y un campo específico de investigación», en F.J. Perales y P. Cañal (eds.): *Didáctica de las ciencias experimentales. Teoría y práctica de la enseñanza de las ciencias*. Alcoy, Marfil.

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

GONZALO, R.; RODRIGO, E., y LÓPEZ, A. (1999): *Tecnología 3*. Madrid, Anaya.

GUIASOLA, J. (1997): «El trabajo científico y las tareas en la electrostática en textos de bachillerato», en: *Alambique*, núm. 11, pp. 45-54.

GUIASOLA, J.; BARRAGUÉS, J. I.; VALDÉS, P.; VALDÉS, R., y PEDROSO, F. (1999): «Getting students familiar with the use of computers: study of the falling of a body in a fluid», en: *Physics Education*, núm. 34(4), pp. 214-219.

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

IHDE, D. (1997): «The structure of technology knowledge», en: *International Journal of Technology and Design Education*, núm. 7, pp. 73-79.

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

LEDERMAN, L. (1998): «A response», en: *Studies in Science Education*, núm. 31, pp. 130-135.

LEVINSON, R.; MURPHY, P., y MCCORMICK, R. (1997): «Science and technology concepts in a design and technology project: a pilot study», en: *Research in Science & Technological Education*, núm. 2 (15), pp. 235-255.

MAIZTEGUI, A, *et al.* (2002): *Papel de la tecnología en la educación científica: una dimensión olvidada*. La Habana, Academia (en prensa).

MANRIQUE J.; VARELA, P., y FAVIERES, A. (1989): «Selección bibliográfica sobre esquemas alternativos de los estudiantes en electricidad», en: *Enseñanza de las Ciencias*, núm. 7 (3), pp. 292-295.

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

NÚÑEZ, J. (1999): *La ciencia y la tecnología como procesos sociales. Lo que la educación científica no debería olvidar*. La Habana, Editorial Félix Varela.

OÑORBE, A., *et al.* (1999): «Monografía sobre enseñanza de la electricidad», en: *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales*, núm. 19, pp. 5-52.

PICAZO, J. M.; GÓMEZ, J. M.; IGLESIA, M. J. DE LA, y SÁNCHEZ, J. L. (1998): *Tecnología 3º*. Madrid, Santillana.

PONTES, A., y PRO, A. DE (2001): «Concepciones y razonamientos de expertos y aprendices sobre electrocinética: consecuencias para la enseñanza y la formación de profesores», en: *Enseñanza de las Ciencias*, núm. 19 (1), pp.103-121.

RENNIE, L., y JARVIS, T. (1995): «English and Australian children's. Perceptions about technology», en: *Research in Science & Technological Education*, núm. 13 (1), pp. 37-52.

SALINAS, J.; CUDMANI, L. DE, y PESA, M. (1996): «Modos espontáneos de razonar: un análisis de su incidencia sobre el aprendizaje del conocimiento físico a nivel universitario básico», en: *Enseñanza de las Ciencias*, núm. 14 (2), pp. 209-220.

SILVA, F., y GÓMEZ, L. (1994): *Tecnología 2*. Madrid, McGraw-Hill.

SOLOMON, J. (1998): «Technology in the elementary school: blind variation and selective retention», en: *Research in Science Education*, núm. 28 (1), pp. 153-167.

TALÍZINA, N. (1988): *Psicología de la enseñanza*. Moscú, Progreso.

VALDÉS, P., y VALDÉS, R. (1999): «Características del proceso de enseñanza-aprendizaje de la física en las condiciones contemporáneas», en: *Enseñanza de las Ciencias*, núm. 17 (3), pp. 521-531.

— (1999): *Enseñanza-aprendizaje de la ciencia en la educación secundaria: temas de física* La Habana, Academia.

— (1994a): «Utilización de los ordenadores en la enseñanza de la Física», en: *Revista Española de Física*, núm. 8 (4), pp. 50-52.

— (1994b): «Utilización de los ordenadores en la enseñanza de las ciencias», en: *Enseñanza de las Ciencias*, 12 (3), pp. 412-415.

VALDÉS, R.; VALDÉS, P., y CLAVELO, A. (1998): «Familiarización de los estudiantes con la automatización de experimentos mediante computadoras: determinación de la velocidad del sonido en el aire», en: *Revista Española de Física*, núm. 12 (1), pp. 33-38.

VALDÉS, P.; VALDÉS, R., y MACEDO, B. (2001): «Transformaciones en la educación científica a comienzos del siglo XXI», en: *Didáctica de las ciencias experimentales y sociales* (en prensa).

VARELA, M. P.; PÉREZ DE LÁNDZABAL, M. C.; MANRIQUE, M. J., y FAVIERES, A. (2000): *Electricidad y magnetismo*. Madrid, Síntesis.

VEJO, P. (1996): *Tecnología 3*. Madrid, McGraw-Hill.

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

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