

Razones didácticas y epistemológicas de la introducción de nociones de física de semiconductores en Educación Secundaria

Luis Rosado¹ y Antonio García Carmona²

¹Departamento de Inteligencia Artificial. UNED. Madrid. E-mail: rosado@dia.uned.es

²Área de Ciencias. Colegio Luisa de Marillac. Sevilla. E-mail: agarciaca@cofis.es

Resumen: En este artículo se destaca la necesidad educativa de proporcionar a los jóvenes una formación básica e integral en Electrónica, desde los niveles básicos de enseñanza, con vistas a que afronten con éxito los retos de una sociedad científica y tecnológicamente avanzada. Exponemos la dimensión científica de la Electrónica y, a consecuencia de ello, damos razones epistemológicas y didácticas que justifican su integración en el curriculum de Ciencias (Física y Química) de la Educación Secundaria. Como propuesta de integración, apoyamos la enseñanza de nociones de Física de Semiconductores, porque ofrece una visión amplia de la Electrónica, al tiempo que sirve de complemento en el estudio de los contenidos introducidos en el curriculum de Tecnología.

Palabras clave: Alfabetización científica, educación científica, educación secundaria, electrónica, física de semiconductores.

Title: Didactic and epistemological reasons of the introduction of physics of semiconductors notions in Secondary Education

Abstract: In this article we expose the educational need to provide to the pupils a basic and integral formation in Electronics, since the basic levels of School. Like this, the pupils will be able to face up with success the challenges of a scientific and technologically advanced society. We expose the Electronics scientific dimension and, as a result of it, we give epistemological and didactic reasons which justify its integration in the Sciences (Physics and Chemistry) curriculum of Secondary Education. As offer of integration, we support the Physics of Semiconductors teaching, because it offers a wide vision of the Electronics, at the time that it uses as complement in the study of the introduced contents in Technology curriculum.

Keywords: Electronics, physics of semiconductors, scientific education, scientific literacy, secondary education.

Introducción

La principal meta de la Educación es proporcionar a los jóvenes una formación básica e integral, coherente con las necesidades y los retos de una

sociedad en permanente evolución (Lamadrid, 1999; Alanís, 2000). Una formación de estas características abarca tanto aspectos humanísticos como matemáticos, científicos y tecnológicos (Bevis, 1985), que han de ser introducidos, de un modo racional y progresivo, desde los niveles básicos de enseñanza. En lo que a la Ciencia y la Tecnología se refiere, su enseñanza se debe plantear haciendo especial énfasis en la dimensión humanística y cultural que presentan (Martín, Gómez y Gutiérrez, 2000; García Carmona, 2004a); una cuestión que, sin duda, resulta esencial para comprender muchos de los aspectos del mundo en el que vivimos (Cabral, 2001; Prieto, 2002).

Nos hallamos en una sociedad donde las altas cotas de bienestar se deben a los grandes avances científico-tecnológicos. Bybee (2000) señala que, en una encuesta realizada a historiadores y periodistas estadounidenses, los cien titulares de prensa, considerados por ellos como los más relevantes del pasado siglo, corresponden a acontecimientos que están relacionados, directa o indirectamente, con la Ciencia y la Tecnología. Si bien, el avance científico-tecnológico no sería explicable sin la Electrónica. Ya en 1972, Foxcroft afirmaba que «*En nuestro días es difícil imaginar una actividad en la que la Electrónica no juegue un papel importante*». Desde entonces los avances en Electrónica han sido espectaculares, hasta el punto de que ha condicionado, significativamente, nuestro estilo de vida (Jolly, 1998; Setzer, 2000). Estamos inmersos en una sociedad donde la Electrónica y sus productos ocupan uno de los lugares más destacados; su presencia es notoria en el mundo del trabajo, el hogar, la educación, la cultura y el ocio (Méndez, 2000). Podemos afirmar, incluso, que el desarrollo de la Electrónica ha dado origen al concepto mismo de Sociedad Moderna (Rosado, 1995).

Por consiguiente, las autoridades educativas deben establecer las medidas oportunas que permitan a los jóvenes adquirir una formación básica y adecuada en esta materia. La formación les ha de proporcionar una capacidad de análisis crítico y de comprensión de los aspectos científico-tecnológicos, relacionados con la Electrónica, que forman parte de su entorno cotidiano (Verdugo, 2000; Rosado y García Carmona, 2004a). Por tanto, su enseñanza no debe tener una finalidad propedéutica, sino promover una *alfabetización científica* en Electrónica Básica.

En la actualidad, los planes de estudio de la Educación Secundaria (12-16 años) establecen el estudio de la Electrónica en el Área de Tecnología; si bien, además de ser una disciplina de carácter tecnológico, la Electrónica es una ciencia experimental. Gran parte de su desarrollo se debe a los importantes avances logrados en Física de los materiales semiconductores. Como consecuencia de esto, desde hace años se viene reclamando la presencia de contenidos de Electrónica en la Educación Científica básica (Rosado, 1995; Rosado y García Carmona, 2002a, 2002b, 2002c, 2003).

Sin embargo, aun cuando existen razones didácticas y epistemológicas, el currículum de Ciencias (Física y Química) de la Educación Secundaria no establece el estudio de contenidos de Electrónica. Por este motivo, surge la idea de iniciar proyectos educativos que pongan de manifiesto la necesidad,

por un lado, y la viabilidad, por otro, de integrar el estudio de nociones de Electrónica Física en el curriculum de Ciencias (Rosado y García Carmona, 2004b).

En este artículo exponemos la necesidad educativa de establecer una formación básica en Electrónica desde el ámbito de la Educación Científica. Describimos cuál es su situación actual en el curriculum de Ciencias (Física y Química) de Secundaria, y analizamos algunas de las razones por las que no recibe la atención que merece en el mismo. Asimismo, como vía de interrelación Física-Eléctrica, planteamos la necesidad de integrar, de un modo progresivo, las nociones básicas de Física de Semiconductores con los contenidos de *Electricidad y Estructura de la Materia* del curriculum de Física y Química. Por último, y como justificación didáctica y epistemológica de nuestro planteamiento, intentamos dar respuestas a los siguientes interrogantes: *¿Por qué?, ¿Cómo?, ¿Qué? y ¿Cuándo?* enseñar Física de Semiconductores en la Educación Secundaria.

Necesidad de una formación en Electrónica básica desde el ámbito de la Educación Científica

Los profundos cambios socioculturales de las dos últimas décadas, provocados por el importante desarrollo de la Electrónica, han dado lugar a que ésta se considere un elemento indispensable en la formación básica de todas las personas (Jolly, 1998); y a que se reclame, por tanto, un lugar destacado en los currículos escolares desde los niveles básicos de la educación (Geddes, 1984; Bevis, 1985; Summers, 1985; Desmarais, 1986; Rosado, 1995).

La idea es que, junto al término *alfabetización científica* (Acevedo, 2002; García Carmona, 2003), se comience a emplear el de *alfabetización tecnológica* (Buch, 2003), con la Electrónica como uno de sus pilares esenciales. Esta alfabetización, que puede denominarse "*alfabetización electrónica*" (Rosado y García Carmona, 2004b), debe capacitar a todos los ciudadanos y ciudadanas, no sólo para comprender un mundo colmado de productos electrónicos, sino para analizarlo críticamente, tomar decisiones y participar en innovaciones que den respuesta a las necesidades y demandas de las sociedades.

Es sabido que la Electrónica, además de su componente tecnológica, es una ciencia experimental (Rosado y García Carmona, 2002a); no en vano, han sido los grandes avances en Física del Estado Sólido —concretamente, de los sólidos semiconductores— los que han originado el desarrollo de este campo (Pierret, 1994; Méndez, 2000). Ello ha dado lugar a una reducción considerable en las dimensiones de los aparatos electrónicos, al tiempo que han aumentado su utilidad y prestaciones. De modo que una formación básica y adecuada de los jóvenes en Electrónica, requiere también del estudio de su componente científica: los aspectos básicos sobre la estructura y el comportamiento físico de los materiales semiconductores (Robles *et al*, 1993).

Desde un punto de vista epistemológico (Adúriz-Bravo, 2001), se puede decir que con los semiconductores comienza el estudio propio de la Electrónica

(Alcalde, 1999). Además, la atención a la Electrónica desde el ámbito de la Educación Científica es un requisito indispensable para formar en los alumnos una imagen más correcta del desarrollo científico actual (Paixão y Cachapuz, 1998; Valdés *et al*, 2002); en particular, una visión de la unidad que constituyen la Física y la Electrónica, que ha dado lugar a la *Electrónica Física* (Rosado, 1987; 1995). Desde el ámbito de la didáctica, esta visión integral de la Electrónica tiene una repercusión directa en la calidad de su enseñanza/aprendizaje. Algunos investigadores (Maiztegui *et al*, 2002) opinan, al respecto, que la conexión del conocimiento científico escolar con los conocimientos y experiencias científico-tecnológicas más relevantes de la vida cotidiana —como es el contacto continuo con aparatos electrónicos (microordenador, calculadoras, teléfonos móviles, videoconsolas,...)— contribuye a que dicho conocimiento sea más significativo, con vistas a ser utilizado en distintas situaciones (García Carmona, 2003; Rosado y García Carmona, 2004a). Así, el aprendizaje de la Física adquiere mayor sentido y relevancia para el alumnado.

Situación actual de la Electrónica en el curriculum de Ciencias de Educación Secundaria

Ya hemos expuesto las razones sociales, epistemológicas y didácticas que consideran a la Electrónica como un aspecto esencial de la Educación Científica básica en la actualidad. Sin embargo, aun cuando la interrelación entre la Física y la Electrónica es evidente, todavía no se le ha prestado la atención suficiente en nuestro país (Rosado, 1995; Rosado y García Carmona, 2003). Actualmente el estudio de la Electrónica sólo se incluye en el Área de Tecnología, si bien, su tratamiento didáctico está basado en una “aproximación por bloques” de los sistemas electrónicos básicos, sin que se incida en los aspectos científicos que explican su comportamiento (Rosado y García Carmona, 2004b).

Un análisis pormenorizado del curriculum de Ciencias (Física y Química) de Secundaria, y de los textos comúnmente utilizados en las aulas, muestra que no se contempla el estudio de contenidos básicos de Electrónica. Asimismo, un repaso de los trabajos publicados en los últimos años, en prestigiosas revistas de Didáctica de las Ciencias, indica la escasa/nula presencia de la Electrónica en la Educación Científica de los niveles básicos de la Enseñanza. Este es un hecho que se puede generalizar a otros aspectos tecnológicos que debieran estar presentes en los currículos de Ciencias (Maiztegui, *et al*, 2002; Valdés *et al*, 2002; Fernández *et al*, 2003). Y es que, como señala Bybee (2000), muchos profesores e investigadores en Didáctica de las Ciencias se limitan a identificar la educación tecnológica con el uso de los ordenadores en las aulas y los laboratorios escolares.

A la vista de lo anterior, cabe preguntarse: ¿por qué esa falta de atención a la Electrónica en la Educación Científica de los niveles básicos de enseñanza?. Reflexionar sobre la cuestión es un ejercicio especialmente importante, habida cuenta que no deja de ser algo sorprendente que, en nuestra época, exista un escaso interés hacia la Electrónica —y la Tecnología en general (Valdés *et al*,

2002)— por parte de los diseñadores de currículos de Ciencias e investigadores en Didáctica de las Ciencias. Aun cuando la respuesta a la pregunta planteada es compleja, pues se encuentran múltiples causas, vamos a enumerar algunas que parecen esenciales.

Razones de la insuficiente atención a la Electrónica Física en el currículum de Ciencias de la Educación Secundaria

Existen diversos factores que hacen que, actualmente, la atención a la dimensión tecnológica, y de la Electrónica en particular, sea insuficiente en la Educación Científica de los niveles básicos de enseñanza, en nuestro país. Uno de los factores es el ritmo con que se actualizan los diseños curriculares de Ciencias, que no evolucionan en sintonía con los avances científico-tecnológicos del momento, y mantienen un anquilosamiento académico propio de hace varias décadas (Rosado, 1995). En efecto, 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. Pensemos, por ejemplo, en lo que ha significado para la sociedad, la Ciencia y la Cultura en general, los avances tecnológicos obtenidos durante las pasadas dos décadas en el campo de la Informática y de las Comunicaciones (Castellano, 2000). Encontramos, pues, que los proyectos curriculares de Ciencias se encuentran anclados en el tiempo y aún no han asumido el reto y la necesidad de afianzar contenidos que, hoy día, son parte intrínseca de la sociedad en que vivimos (Solbes y Vilches, 1998; Adúriz-Bravo, 2001); contenidos como son los relacionados con la Electrónica, que deben formar parte de la formación básica e integral de los jóvenes actuales.

Otro factor está relacionado con el hecho de que, hasta hace relativamente poco, la Didáctica de las Ciencias no se ha establecido como un campo específico de conocimientos y de investigación importante (Adúriz-Bravo e Izquierdo, 2002). Inevitablemente, este proceso ha estado precedido de un período de tratamientos fraccionados e incompletos, en los que no se han atendido todas las parcelas de la Ciencia (Gil, Carrascosa y Martínez, 2000). Una consecuencia de esto ha sido la falta de atención a la Tecnología, y en concreto a la Electrónica, en el ámbito de la Educación Científica (Valdés *et al*, 2002). Las concepciones epistemológicas incorrectas —como el hecho de no considerar la componente científica en el estudio de la Electrónica—, constituyen uno de los principales obstáculos para la renovación de la Educación Científica (Adúriz-Bravo, 2001; Fernández, *et al*, 2003).

Por último, existe otro factor que, de forma directa, influye en la desatención a contenidos de Electrónica en la Educación Científica: la falta de preparación de diseñadores de currículos y de profesores de Ciencias en aspectos de Electrónica y Electrónica Física (Rosado, 1995, 2000), y, ligado a ello, la resistencia al cambio y a la innovación en los libros de texto (Del Carmen, 2001).

La Física de Semiconductores como marco de interrelación Física-Electrónica en la Educación Científica Básica

¿Por qué enseñar Física de Semiconductores?

La utilización de los materiales semiconductores, en la fabricación de elementos y dispositivos electrónicos, ha supuesto uno de los mayores avances dentro del mundo de la Electrónica en general (Rosado, 1995), y de la Informática en particular (Robles *et al*, 1993; Pierret, 1994). Este hecho fue reconocido, en 2000, con el Premio Nobel de Física, concedido a Jack Kilby (1959), por la invención del circuito integrado, y a Zhores Alferov y Herbert Kroemer (1957-1963) por el desarrollo de las heteroestructuras de semiconductores que se usan en comunicaciones. Como señala Méndez (2000):

Los hallazgos [...] demostrados en muchas familias de semiconductores, son el fundamento de los dispositivos electrónicos que gobiernan, hoy día, el funcionamiento de la telefonía móvil, las calculadoras, las videoconsolas, los televisores, los ordenadores, los relojes digitales y un largo etcétera. De modo que con esto se ha marcado un antes y un después en el desarrollo de la Humanidad, dando lugar a una nueva era de las comunicaciones, que algunos han denominado "Sociedad Cableada".

Como consecuencia de ello, la enseñanza de la Física de Semiconductores se presenta como el marco de contenidos obligado para la integración de la Electrónica Física en el curriculum de Ciencias (Física y Química) de la Educación Secundaria (Rosado y García Carmona, 2004b). Su inclusión debe proporcionar a los alumnos una visión más profunda y completa de la Electrónica, así como una capacidad de análisis crítico y de comprensión de los aspectos relacionados con esta disciplina, que forman parte de su entorno cotidiano (Rosado y García Carmona, 2002a, 2004a). Por tanto, la Física de Semiconductores ha de ser considerada como una disciplina esencial dentro de la didáctica y la epistemología de la Electrónica.

Además de justificar *por qué* enseñar Física de Semiconductores en la Educación Secundaria, es conveniente preguntarse: *¿Qué enseñar?*, *¿Cómo enseñar?* y *¿Cuándo enseñar?* Física de Semiconductores en esta etapa educativa (Rosado, 2002).

¿Qué enseñar de Física de Semiconductores?

La Física de Semiconductores es una disciplina que se compone de leyes y principios relacionados con la Física del Estado Sólido, Mecánica Cuántica, Mecánica Estadística, Electromagnetismo, etc. Por tanto, es una disciplina que evoluciona y se desarrolla al ritmo que lo hacen los diferentes campos de la Física que la comprenden. De forma que no es fácil decidir qué contenidos se han de tratar en una primera introducción a esta temática en el nivel de la Educación Secundaria.

Una de las cuestiones indispensables, a la hora de realizar una selección de contenidos de Física de Semiconductores para Secundaria, será analizar

pormenorizadamente el curriculum de Ciencias (Física y Química) en el que se van a integrar. En efecto, se ha de tener presente el marco de contenidos en el que podemos entroncar, de manera racional y progresiva, las nociones básicas de esta temática. En el curriculum de Ciencias (Física y Química) de Secundaria, los contenidos que tienen una relación directa con los de Física de Semiconductores, son los formados por los bloques temáticos referidos a la *Electricidad y Estructura de la Materia*.

Además de tener presente el marco curricular en el que se van a integrar los contenidos de Física de Semiconductores, será preciso mostrar especial atención a aquellos contenidos que, por sus características y grado de dificultad, son los más idóneos conforme a las capacidades psicológicas y cognitivas del alumnado de la etapa educativa a la que nos referimos (Rosado y García Carmona, 2002a).

Los contenidos de Física de Semiconductores propuestos, en lugar de ser la finalidad última del proceso de aprendizaje, deben constituirse como el 'medio' por el cual los alumnos adquieran un conocimiento científico (Gil *et al*, 1991; Hodson, 1994) en el ámbito de la Electrónica Física. En consecuencia, la selección de los contenidos de Física de Semiconductores, en el nivel de Secundaria, será adecuada en la medida que contribuya a las siguientes finalidades:

a) Sean útiles y prácticos, de manera que ayuden a los alumnos a resolver situaciones cotidianas de su entorno más cercano en relación con la Electrónica.

b) Sean inteligibles para los alumnos, en tanto que el uso continuo favorezca el espíritu crítico, analítico, reflexivo y creativo, en relación con el mundo de la Electrónica (Rosado y García Carmona, 2002c).

c) Se planteen de forma que su enseñanza esté estrechamente ligada a la realidad inmediata del alumno, partiendo de sus propios intereses. Por lo tanto, debe introducirse un orden y establecerse los vínculos entre los hechos físicos, afectivos y sociales de su entorno (Rosado y García Carmona, 2004a).

d) Sean lo suficientemente interesantes para invitar a su aprendizaje y, como consecuencia de esto, aumente el interés del alumnado por el estudio de la Física Básica de Semiconductores.

¿Cómo enseñar Física de Semiconductores?

Teniendo presente lo que acabamos de decir en el interrogante anterior, la enseñanza de la Física de Semiconductores no se debe concebir como una «ciencia aplicada», orientada, exclusivamente, a explicar el funcionamiento de ciertos dispositivos electrónicos mediante determinados principios o conceptos científicos. Hay que tener en cuenta que los dispositivos electrónicos, en su creación y desarrollo, siguen diversos y complicados caminos; con lo cual, constituyen sistemas complejos formados por una gran diversidad de elementos (Valdés *et al*, 2002). Así, algunos de estos elementos se crean con las aportaciones de la Física de Semiconductores, según la aplicación de

conceptos y teorías científicas del comportamiento de los sólidos semiconductores; otros se desarrollan mediante la experimentación, sin tener en cuenta teorías o principios científicos. De modo que el papel de la enseñanza de la Física de Semiconductores no será el de examinar el funcionamiento de los dispositivos, sino el de ilustrar los principios y conceptos científicos que se manifiestan en los materiales semiconductores (Rosado y García Carmona, 2004b).

A la hora de plantear cómo enseñar Física de Semiconductores en la Educación Secundaria, es necesario atender a la estructura cognitiva inicial del alumnado (Rivas, 1997); ello, con idea de enlazar lo que los alumnos conocen —o al menos han estudiado— con la nueva información (Pozo y Gómez Crespo, 1998; Moreira y Greca, 2003). Dado que es un tema novedoso, la atención se centrará en las concepciones que tienen sobre la *Estructura de la Materia y Electricidad*, propuestos para el nivel de Secundaria, y que tienen una relación directa con los contenidos que se propongan. Resultan interesantes, al respecto, los trabajos de Solbes y Vilches (1991), De Posada (1993, 1999), Furió y Guisasola (1993, 1994), Rosado (1995), Rosado y Ayensa (1999), Benarroch (2000), Criado y Cañal (2002, 2003), García Carmona (2002, 2004b) y De la Fuente *et al* (2003).

Asimismo, la enseñanza de la Física de Semiconductores en Secundaria debe plantearse mediante una adaptación especial de los contenidos a la estructura psicológica y cognitiva del alumnado de este nivel (Rosado y García Carmona, 2002a, 2002c, 2003). Así, por ejemplo, el estudio de los aspectos básicos de la *estructura del átomo* y del *enlace químico* permitirá al alumno comprender las propiedades físico-químicas de los sólidos (estructura cristalina, conductividad eléctrica, comportamiento interno con la temperatura, etc.), y más concretamente de los sólidos covalentes atómicos (semiconductores).

Por otra parte, se deberá conectar con contenidos sobre interacción electrostática, clasificación de la materia según sus propiedades eléctricas (conductores, aislantes y semiconductores), y producción de corriente eléctrica. De este modo, el alumno estará en disposición de comprender la conducción eléctrica en los materiales y, en particular, en los materiales semiconductores (Rosado y García Carmona, 2002a).

El estudio de la estructura y propiedades físicas de los semiconductores, se introducirá en el contexto de los siguientes contenidos sobre Estructura de la materia:

- Comportamiento interno de la materia según la Teoría cinético-corporal.
- Teoría atómica de la materia: modelos atómicos de Rutherford y Bohr.
- Sistema periódico y enlace químico: clasificación de los elementos en metales, no metales y semimetales, según sus propiedades físico-químicas; estructura electrónica de los elementos del grupo principal; electrones de valencia; uniones entre átomos (enlace iónico, covalente y metálico) y sus propiedades físico-químicas.

En cuanto al estudio de la *conducción eléctrica en materiales semiconductores*, se llevará a cabo en el marco de los siguientes contenidos de Electricidad:

- Concepto de carga eléctrica, diferencia de potencial, movimiento de cargas eléctricas en la materia.
- Corriente eléctrica, resistencia eléctrica y su variación con la temperatura; comprensión de circuitos eléctricos sencillos.

En relación con los contenidos procedimentales y actitudinales, se establecerán de manera similar al resto de contenidos de Física y Química para esta etapa educativa. Como *procedimientos*, los alumnos han de establecer hipótesis destinadas al estudio del comportamiento eléctrico de los materiales semiconductores; emplear modelos para explicar los fenómenos eléctricos y la estructura interna de estos materiales (modelo bidimensional del enlace covalente); realizar diagramas conceptuales como síntesis y estructuración de los conceptos estudiados; consultar fuentes bibliográficas y elaborar informes sobre los trabajos realizados. Es decir, la realización de tareas propias de la metodología científica.

Con respecto a las *actitudes*, además de las que se trabajan habitualmente en la Educación Científica (García Carmona, 2004c), se tratará de promover el interés de los alumnos por el estudio de la Física de Semiconductores como disciplina esencial en el desarrollo de la Electrónica.

Por último, y con el fin de reforzar el estudio de conceptos de Física de Semiconductores, será necesario establecer una adecuada coordinación con el Área de Tecnología de Secundaria (Lavonen y Meisalo, 2000). El actual currículo de Tecnología (R. D. 116/2004, de 23 de enero, del M.E.C.) establece el estudio de la Electrónica en el 2º ciclo de Secundaria (14-16 años). En el tercer curso (14-15 años), dentro del bloque *Electricidad y Electrónica*, se establece el estudio y montaje de circuitos electrónicos con diodos, así como de algunos circuitos integrados básicos. Esto permitirá a los alumnos comprobar, por ejemplo, el comportamiento de un diodo semiconductor de unión *pn* (dispositivo electrónico más elemental) en circuitos sencillos, y explicar este comportamiento a partir de los conceptos físicos estudiados (Rosado y García Carmona, 2002c). En cuarto curso (15-16 años), dentro del mismo bloque temático, se incluye el estudio de las técnicas básicas de fabricación de circuitos electrónicos, así como la fabricación de circuitos integrados a partir de materiales semiconductores. En este contexto, se hará alusión, por ejemplo, a la *técnica plana epitaxial* utilizada en la fabricación de diodos semiconductores. De esta forma, se expone la componente tecnológica de los materiales semiconductores; lo cual supone un apoyo importante a fin de reforzar el aprendizaje de los conceptos teóricos de Física Básica de Semiconductores.

¿Cuándo enseñar Física de Semiconductores?

Una vez diseñada la propuesta de contenidos de Física de Semiconductores, enmarcada en el curriculum de Ciencias (Física y Química) de Secundaria, es

conveniente determinar en qué curso de esta etapa se va a iniciar su estudio. En esta elección se atenderá a dos criterios básicos: por un lado, se tendrá en cuenta la distribución de los contenidos de Física y Química —que tienen una relación directa con la Física de Semiconductores— en los distintos cursos de la etapa; y, por otro, las características psicológicas y cognitivas del alumnado al que vaya dirigido la propuesta (Pozo y Gómez Crespo, 1998). Los contenidos de *Electricidad y Estructura de la Materia* se introducen en espiral, a lo largo de toda la etapa de la Educación Secundaria (12-16 años); si bien, es a partir del tercer curso (14-15 años) donde se introducen los contenidos necesarios, de ambos bloques temáticos, que permiten programar una iniciación al estudio de nociones básicas de Física de Semiconductores. En consecuencia, la enseñanza de esta materia es posible iniciarla a partir del tercer curso (14-15 años), una vez hayan sido introducidos y madurados los contenidos antes mencionados (Rosado y García Carmona, 2003).

Recapitulación y conclusiones

El eminente desarrollo de la Electrónica, producido en los últimos años, ha dado lugar a numerosos productos electrónicos, cuya presencia es notoria en los distintos ámbitos como el trabajo, el hogar, la educación, la cultura y el ocio. Como consecuencia de ello, se ha destacado la necesidad educativa de proporcionar una formación básica e integral en esta disciplina, desde los niveles básicos de enseñanza, con vistas a que los jóvenes afronten con éxito los retos de una sociedad científica y tecnológicamente avanzada.

Hemos expuesto, también, la dimensión científica de la Electrónica. Atendiendo a razones didácticas y epistemológicas, hemos justificado la integración de contenidos de Electrónica en el curriculum de Ciencias (Física y Química) de la Educación Secundaria. Este cometido debe tener la finalidad de ofrecer una visión más amplia de la Electrónica (alfabetización electrónica), al tiempo que servir de complemento y apoyo al estudio de los contenidos introducidos en el actual curriculum de Tecnología.

Con el propósito de profundizar en la viabilidad de lo anterior, hemos descrito la situación actual de contenidos tecnológicos en el curriculum de Ciencias (Física y Química), así como en los libros de texto frecuentemente utilizados. De este análisis se desprende que existe una desatención explícita a contenidos de Electrónica. En consecuencia, y a modo de reflexión, hemos expuesto algunas de las razones por las que aún no se da a la Electrónica la atención que merece en la Educación Científica de los niveles básicos de la enseñanza.

Como propuesta teórica de integración de contenidos de Electrónica en el curriculum de Ciencias (Física y Química), hemos presentado la enseñanza de la Física de Semiconductores como la vía idónea de interrelación Física-Electrónica. Y hemos sostenido la posibilidad de integrar las nociones básicas de la Física de Semiconductores con los contenidos de *Electricidad y Estructura de la Materia*, actualmente establecidos en el curriculum de Física y Química para 2º ciclo de Secundaria (14-16 años).

Por último, con el propósito de justificar didácticamente la integración de contenidos elementales de Física de Semiconductores en la Educación Científica básica, hemos dado respuesta a los interrogantes *¿Por qué?, ¿Qué?, ¿Cómo?* y *¿Cuándo?* enseñar Física de Semiconductores en la etapa de la Educación Secundaria.

A la vista de la recapitulación que acabamos de exponer, obtenemos las siguientes *conclusiones*:

1. El importante avance científico-tecnológico alcanzado estos últimos años, en el campo de la Electrónica, plantea la necesidad de proporcionar a los jóvenes de hoy una formación básica y adecuada en esta temática desde los niveles básicos de la enseñanza. El estudio de la Electrónica permitirá a los jóvenes adquirir una capacidad de análisis crítico y de comprensión de los aspectos científico-tecnológicos, relacionados con la Electrónica, que forman parte de su entorno cotidiano.

2. Existen razones epistemológicas y didácticas suficientes que apoyan la integración de contenidos de Electrónica Básica en el curriculum de Ciencias (Física y Química) de la Educación Secundaria. Su inclusión en la Educación Científica debe proporcionar a los alumnos una visión más profunda y completa de la Electrónica, a la vez que servirles de complemento y apoyo a la hora de estudiar los contenidos de esta materia en el Área de Tecnología.

3. En el curriculum actual de Ciencias (Física y Química) de la Educación Secundaria no se contempla el estudio de contenidos de Electrónica. Entre las razones de esta desatención hemos destacado las que siguen:

- Los proyectos curriculares de Ciencias se encuentran anclados en el tiempo, con planteamientos propios de hace algunas décadas, y con una visión academicista de la Ciencia; de modo que en sus diseños no se asume el reto y la necesidad de afianzar contenidos que, hoy día, son parte intrínseca de la sociedad en que vivimos.
- Durante el proceso de consolidación de la Didáctica de las Ciencias, como campo de investigación específico, han existido algunos aspectos que han sido olvidados por los investigadores, como es el caso de la integración de la dimensión tecnológica en la Educación Científica, y en particular de la Electrónica. Esto constituye, sin duda, uno de los principales obstáculos para la renovación de la Educación Científica.
- En la actualidad existe una falta de preparación de diseñadores de currículos y de profesores de Ciencias en aspectos de Electrónica y Electrónica Física, y, ligado a ello, una resistencia al cambio y a la innovación en los libros de texto actuales.

4. Ante la problemática planteada, proponemos la enseñanza de nociones básicas de Física de Semiconductores como el marco idóneo de interrelación Física-Electrónica, para la integración de contenidos de Electrónica en la Educación Científica. Nuestra idea se apoya en que han sido los grandes avances en Física del Estado Sólido —concretamente, de los sólidos

semiconductores— los que han originado el desarrollo de la Electrónica hasta nuestros días.

5. El papel de la enseñanza de la Física de Semiconductores, en la Educación Secundaria, debe ser el de ilustrar algunos de los principios y conceptos científicos que se manifiestan en los materiales semiconductores presentes en los dispositivos electrónicos, y no el de examinar el funcionamiento de tales dispositivos.

6. La integración y consolidación de contenidos básicos de Física de Semiconductores, en el curriculum de Ciencias (Física y Química) de Secundaria, requiere del inicio de investigaciones didácticas encaminadas al:

- Diseño, aplicación y evaluación de materiales didácticos de Física de Semiconductores en el aula, de acuerdo con las tendencias actuales en Investigación en Didáctica de las Ciencias.
- Análisis de la comprensión y dificultades de aprendizaje de los alumnos sobre nociones de Física de Semiconductores, integradas en el curriculum de Ciencias (Física y Química) de la Educación Secundaria.
- Estudio de las ideas, preconcepciones y perspectivas del profesorado de Física y Química, en relación con la Física de Semiconductores y su enseñanza en la etapa obligatoria de la Educación Secundaria. Todo ello con vistas a promover programas de formación del profesorado, que hagan factible su enseñanza/aprendizaje en esta etapa educativa.

Referencias bibliográficas

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

Adúriz-Bravo, A. (2001). *Integración de la epistemología en la formación del profesorado de Ciencias*. Tesis Doctoral. Bellaterra: Universidad Autónoma de Barcelona.

Adúriz-Bravo, A. e Izquierdo, M. (2002). Acerca de la Didáctica de las Ciencias como disciplina autónoma. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 1, 3, Artículo 1. En: <http://www.saum.uvigo.es/reec>.

Alanís, A. (2000). El niño y la Ciencia: el contacto necesario con el entorno sociocultural. *Contexto Educativo*, 14. Disponible en línea en: <http://www.contexto-educativo.com.ar/2000/nota-05.htm>.

Alcalde, P. (1999). *Principios Fundamentales de Electrónica* (3ª Ed.). Madrid: Paraninfo.

Ayensa, J. M. (2001). *Instrumentos de regulación y modelo de evaluación en el aula de Física*. Tesis Doctoral. Madrid: UNED.

Benarroch, A. (2000). El desarrollo cognoscitivo de los alumnos en el área de la naturaleza corpuscular de la materia. *Enseñanza de las Ciencias*, 18(2), 235-246.

Bevis, G. (1985). Ban Electronics from school physics. *Physics Education*, 20, 109-110.

Bybee, R. (2000). Achieving technological literacy: a national imperative. *The Technology Teacher*, septiembre de 2000, 23-28.

Cabral, I. (2001). Alfabetismo científico y educación. *Contexto Educativo*, 18. En: <http://www.contexto-educativo.com.ar/2001/4/nota-01.htm>.

Castellano, H. M. (2000). El sentido de la alfabetización tecnológica. *Contexto Educativo*, 11. En: <http://www.contexto-educativo.com.ar/2000/4/nota-09.htm>.

Criado, A. y Cañal, P. (2002). Obstáculos para aprender conceptos elementales de electrostática y propuestas educativas. *Investigación en la Escuela*, 47, 53-63.

Criado, A. y Cañal, P. (2003). Investigación de algunos indicadores del estatus cognitivo de las concepciones sobre el estado eléctrico. *Enseñanza de las Ciencias*, nº extra, 29-41.

De la Fuente, M. A. et al (2003). Estructura atómica: análisis y estudio de las ideas de los alumnos (13-14 años). *Enseñanza de las Ciencias*, 21(1), 123-134.

Del Carmen, L. (2001). Los materiales de desarrollo curricular: un cambio imprescindible. *Investigación en la Escuela*, 40, 51-56.

De Posada, J. M. (1993). Concepciones de los alumnos de 15-18 años sobre la estructura interna de la materia en el estado sólido. *Enseñanza de las Ciencias*, 11(1), 12-19.

De Posada, J. M. (1999). Concepciones de los alumnos sobre el enlace químico antes, durante y después de la enseñanza formal. Problemas de aprendizaje. *Enseñanza de las Ciencias*, 17(2), 227-245.

Fernández, I. et al (2003). El olvido de la Tecnología como refuerzo de las visiones deformadas de la Ciencia. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 2, 3., Artículo 8. En: <http://www.saum.uvigo.es/reec>

Foxcroft, G. E. (1972). Electronics in the Nuffield Advanced Physics Course. *Physics Education*, 7(1), 14-20.

Furió, C. y Guisasola, J. (1993). ¿Puede ayudar la Historia de la Ciencia a entender por qué los alumnos no comprenden los conceptos de carga y potencial eléctricos? *Revista Española de Física*, 7(3), 46-50.

Furió, C. y Guisasola, J. (1994). Dificultades en el aprendizaje significativo de algunos conceptos de electrostática. *Investigación en la Escuela*, 23, 103-114.

García Carmona, A. (2001). El planteamiento de sofismas y paradojas como recurso didáctico en la enseñanza de la Física. *Revista Española de Física*, 15(3), 34-36.

García Carmona, A. (2002). Los modelos atómicos en la Física y Química de la Educación Secundaria Obligatoria. *Revista Española de Física*, 16(4), 37-39.

García Carmona, A. (2003). Integración de las relaciones CTS en la Educación Científica. *Perspectiva CEP*, 6, 109-121.

García Carmona, A. (2004a). Física... ¿para qué?. *Revista Española de Física*, 18(3), 11-13.

García Carmona, A. (2004b). Introducción a la configuración electrónica de los átomos en los niveles básicos de enseñanza. *Alambique*, 40, 25-34.

García Carmona, A. (2004c). Desarrollo de valores y actitudes en el laboratorio de Física y Química. *Contexto Educativo*, 32. En: <http://contexto-educativo.com.ar/2004/3/nota-08.htm>.

Gil, D. et al (1991). *La Enseñanza de las Ciencias en Educación Secundaria*. Barcelona: ICE Universidad de Barcelona / Horsori.

Gil, D., Carrascosa, J. y Martínez, F. (2000). Una disciplina emergente y un campo específico de investigación. En Perales y Cañal (Eds.), *Didáctica de las Ciencias Experimentales*. Alcoy: Marfil.

Jolly, W. P. (1998). *Electrónica* (6ª ed). Madrid: Pirámide.

Lamadrid, J. (1999). Enseñanza tecnológica: ¿Tecnicismo sin socialización?. *Contexto Educativo*, 1.

En: <http://www.contexto-educativo.com.ar/1999/11/nota-3.htm>.

Lavonen, J., y Meisalo, V. (2000). Science teachers and technology teachers developing electronics and electricity courses together. *International Journal of Science Education*, 22(4), 435-46.

Maiztegui, A. et al (2002). Papel de la Tecnología en la Educación Científica: una dimensión olvidada. *Revista Iberoamericana de Educación*, 28, 129-155.

Martín, M. J., Gómez, M. A. y Gutiérrez, M. S. (2000). *La Física y la Química en Secundaria*. Madrid: Narcea.

Méndez, E. (2000). La era de la Información, al fin reconocida. Premio Nobel de Física 2000. *Revista Española de Física*, 14(4), 64-66.

Meneses, J. A. (1999). *El aprendizaje del Electromagnetismo en la Universidad. Ensayo de una metodología constructivista*. Burgos: Servicio de publicaciones de la Universidad de Burgos.

Paixão, M.F. y Cachapuz, A. (1998). Dimensión epistemológica de los programas de Física y Química e implicaciones en las prácticas de enseñanza: ¿Qué lectura hacen los profesores? En Banet, E. y De Pro, A. (Eds.), *Investigación e Innovación en la Enseñanza de las Ciencias* (pp. 284-293). Murcia: Universidad de Murcia.

Pierret, R. F. (1994). *Fundamentos de semiconductores* (2ª ed). U.S.A.: Addison-Wesley Iberoamericana.

Pozo, J. I. y Gómez Crespo, M. A. (1998). *Aprender y enseñar Ciencia. Del conocimiento cotidiano al conocimiento científico*. Madrid: Morata.

Prieto, T. (2002). La Ciencia-Tecnología-Sociedad (CTS) en la Educación. *Spin Cero (Cuadernos de Ciencias)*, 6, 91-94.

Robles, M. et al (1993). *Física Básica de Semiconductores*. Madrid: Paraninfo.

Rosado, L. (1987). *Electrónica Física y Microelectrónica*. Madrid: Paraninfo.

Rosado, L. (1995). *Microelectrónica para Profesores de Ciencias y Tecnología*. Madrid: UNED.

Rosado, L. y Ayensa, J. M. (1999). *Enseñanza de la Física en el Nuevo Sistema Educativo. Bases didácticas y nuevos medios tecnológicos en la ESO y el Bachillerato*. Madrid. UNED.

Rosado, L. (2002-Reimpresión). *Didáctica de la Física*. Madrid. UNED.

Rosado, L. y García Carmona, A. (2002a). Programa-guía sobre Física de Semiconductores en la Electrónica de la Educación Secundaria Obligatoria. En Rosado, L. y Colaboradores (Eds.), *Didáctica de la Física y sus Nuevas Tendencias (Manual de 2002)*, (pp. 775-846). Madrid: UNED.

Rosado, L. y García Carmona, A. (2002b). Diseño de un módulo didáctico sobre el Diodo de unión *pn* en la Electrónica de la ESO. En Rosado, L. y Colaboradores (Eds.), *Didáctica de la Física y sus Nuevas Tendencias (Manual de 2002)*, (pp. 847-892). Madrid: UNED.

Rosado, L. y García Carmona, A. (2002c). Enfoque Ciencia-Tecnología-Sociedad en el estudio de la Física de Semiconductores en la ESO. Propuesta de un módulo didáctico. En Rosado, L. y Colaboradores (Eds.), *Didáctica de la Física y sus Nuevas Tendencias (Manual de 2002)*, (pp. 737-774). Madrid: UNED.

Rosado, L. y García Carmona, A. (2003). Una propuesta de enseñanza/aprendizaje sobre la conducción eléctrica en semiconductores intrínsecos para la Educación Secundaria. En Rosado, L. y Colaboradores (Eds.), *Didáctica de la Física y sus Nuevas Tendencias (Manual de 2003)*, (pp. 425-456). Madrid: UNED.

Rosado, L. y García Carmona, A. (2004a). El entorno del alumno como marco de referencia en la enseñanza de la Física. En Rosado, L. y Colaboradores (Eds.), *Didáctica de la Física y sus Nuevas Tendencias (Manual de 2004)*, (pp. 259-312). Madrid: UNED.

Rosado, L. y García Carmona, A. (2004b). Física de Semiconductores en la Electrónica de la ESO: situación actual y perspectivas. *Actas de los XXI Encuentros de Didáctica de las Ciencias Experimentales* (San Sebastián, España), 265-272.

Rosado, L. y García Carmona, A. (2004c). Concepciones y dificultades de aprendizaje de alumnos de Secundaria sobre el comportamiento eléctrico de

los semiconductores y otros materiales. *Actas de los XXI Encuentros de Didáctica de las Ciencias Experimentales* (San Sebastián, España), 273-280.

Setzer, V. W. (2000). La misión de la Tecnología. *Contexto Educativo*, 4. En: <http://www.contexto-educativo.com.ar/2000/4/nota-8.htm>.

Solbes, J. y Vilches, A. (1991). Análisis de la introducción de la teoría de enlaces y bandas. *Enseñanza de las Ciencias*, 9(1), 53-58.

Summers, M. K. (1985). Electronics 11-18: a coordinated programme for the School Physics Curriculum? *Physics Education*, 20 (2), 55-61.

Valdés, R. *et al* (2002). Implicaciones de las relaciones Ciencia-Tecnología en la Educación Científica. *Revista Iberoamericana de Educación*, 28, 101-128.

Verdugo, H. (2000). Sobre enseñanza de las Ciencias. *Contexto Educativo*, 6. En: <http://contexto-educativo.com.ar/2000/4/nota-9.htm>.