

INTRODUCCIÓN A LA FÍSICA DE SEMICONDUCTORES EN LA EDUCACIÓN CIENTÍFICA BÁSICA: PRIMEROS RESULTADOS

ROSADO BARBERO¹, LUIS y GARCÍA CARMONA², ANTONIO

¹ Departamento de Inteligencia Artificial. UNED. Madrid <rosado@dia.uned.es>

² Área de Ciencias (Física y Química) del Colegio Luisa de Marillac. Sevilla. <agarciaca@cofis.es>

OBJETIVOS DEL ESTUDIO

Con el desarrollo de esta experiencia nos propusimos evaluar la eficacia de una propuesta didáctica (Rosado y García Carmona, 2003) orientada a introducir, de forma racional y progresiva, las nociones básicas de Física de Semiconductores en Educación Secundaria Obligatoria (ESO). Ello, con una doble finalidad: por un lado, fomentar una alfabetización científica en relación con la Electrónica, desde el ámbito de la educación científica, y, por otro, servir de apoyo al estudio de esta disciplina en el área de Tecnología de la ESO. El propósito de la experiencia lo concretamos en los objetivos específicos siguientes:

1. Conocer el estatus cognitivo alcanzado por los alumnos sobre Física Básica de Semiconductores, después del proceso de enseñanza/aprendizaje desarrollado en el aula.
2. Describir y analizar las principales dificultades de aprendizaje detectadas en los alumnos sobre Física de Semiconductores.
3. Comprobar si existe un patrón de concepciones alternativas en los alumnos, acerca del comportamiento físico de los semiconductores.

FUNDAMENTO TEÓRICO

Es un hecho incuestionable que vivimos 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. Esto plantea la necesidad de que los jóvenes de hoy adquieran, desde edades tempranas, una formación básica en esta materia (Rosado y García Carmona, 2002a). Esta formación les debe *proporcionar una capacidad de análisis crítico y de comprensión sobre los aspectos científico-tecnológicos relacionados con la Electrónica, que forman parte de su entorno cotidiano* (Rosado y García Carmona, 2002b).

En España, el estudio de la Electrónica se introduce a partir del 2º ciclo de la ESO (14-16 años), en el currículum de Tecnología. Su introducción se hace desde una perspectiva funcional (“aproximación por bloques”), sin entrar en el estudio de los aspectos científicos que explican su comportamiento. Sin embargo, *la Electrónica también es una ciencia experimental*; no en vano, han sido los avances científicos en Física de Semiconductores los que han propiciado el destacado desarrollo de esta materia (Rosado, 1995). En consecuencia, y desde un punto de vista epistemológico, una formación básica y adecuada en Electrónica, también debe venir dada por el estudio del comportamiento físico de los materiales semiconductores (Rosado y García Carmona, 2004).

El actual currículum de Física y Química de la ESO no incluye contenidos de Física de Semiconductores,

si bien, se insta a emprender estrategias didácticas que permitan integrar, de forma racional y coherente, aquellos aspectos de especial relevancia del mundo científico actual. Por este motivo, desde hace algunos años venimos desarrollando un proyecto orientado a integrar las nociones básicas de Física de Semiconductores en la ESO. La intención es *establecer una formación científica de base, que sirva de complemento y apoyo al aprendizaje de la Electrónica en el Área de Tecnología* (Rosado y García Carmona, 2004). En este sentido, el papel de la enseñanza de la Física de Semiconductores en la ESO, debe ser el de ilustrar algunos de los principios y conceptos físicos que se manifiestan en los dispositivos semiconductores, y no el de examinar el funcionamiento de tales dispositivos.

DESARROLLO DE LA EXPERIENCIA

Planteamiento del problema

A la vista de lo expuesto anteriormente, nos propusimos investigar qué niveles de conocimiento alcanzarían los alumnos de 3º de ESO (14-15 años) sobre algunos aspectos del comportamiento físico de los semiconductores, y cuáles serían sus dificultades de aprendizaje, una vez concluido el proceso de enseñanza/aprendizaje. En concreto, nos planteamos los siguientes interrogantes:

- 2) *¿Qué estatus cognitivo lograrán los alumnos de 3º de ESO, sobre nociones básicas de Física de Semiconductores, en un marco de aprendizaje constructivista?*
- 3) *¿Cuáles son las principales dificultades de aprendizaje detectadas en los alumnos sobre la temática?*
- 4) *¿Existe cierta estabilidad de los resultados obtenidos en dos situaciones diferentes, aunque educativamente similares?*

Metodología

El estudio se realizó durante los cursos 2002/03 y 2003/04, con alumnos que cursaban la asignatura de Física y Química de 3º de ESO, en un centro de Sevilla. La primera experiencia se realizó con 33 alumnos, y la segunda con 27 alumnos (Ntotal = 60).

Los datos se obtuvieron mediante un cuestionario de respuestas cerradas con opción múltiple, donde los alumnos debían justificar sus respuestas (véase el anexo). Antes de contestar el cuestionario, los alumnos fueron instruidos mediante una propuesta didáctica con enfoque constructivista (Rosado y García Carmona, 2003), cuya aplicación se desarrolló en 8 sesiones de clase.

Con el propósito de describir y analizar el estatus cognitivo alcanzado por los alumnos, establecimos las categorías o niveles de respuesta:

- *Nivel 1:* Respuesta en blanco.
- *Nivel 2:* Respuesta errónea o confusa en el sentido de que no comprende o no aplica adecuadamente los conceptos manejados.
- *Nivel 3:* Respuesta correcta, pero no se justifica adecuadamente, o bien se hace de manera incompleta o imprecisa.
- *Nivel 4:* Respuesta correcta y justificada adecuadamente.

Resultados

1. Estadísticamente (**tabla 1**) no se encontraron diferencias significativas en los niveles cognitivos alcanzados por los alumnos de los dos grupos investigados; lo cual pone de manifiesto la existencia de un patrón consistente de concepciones y razonamientos de estudiantes de 14-15 años sobre Física Básica de Semiconductores.

TABLA 1
Contraste del estatus cognitivo alcanzado, en cada pregunta del cuestionario, por los dos grupos de alumnos investigados.

	Cuestión 1	Cuestión 2	Cuestión 3	Cuestión 4	Cuestión 5	Cuestión 6
U de Mann-Whitney	395,500	422,000	421,500	430,000	384,000	441,500
Z	-0,796	-0,403	-0,380	-0,246	-0,973	-0,063
Nivel de significación	0,426*	0,687*	0,704*	0,805*	0,331*	0,950*

* Diferencias no significativas para un nivel de significación del 5% ($p > 0,05$).

2. A partir del análisis descriptivo (**tabla 2**), y desde una perspectiva global, se está en disposición de afirmar que el alumnado investigado logró, cuando menos, un nivel medio de aprendizaje sobre nociones básicas de Física de Semiconductores. En consecuencia, la introducción de esta materia en la ESO es factible en la medida en que sus dificultades de aprendizaje son del orden de las observadas en el resto de contenidos de Física y Química para la misma etapa.

TABLA 2
Estadística descriptiva de los niveles de conocimiento alcanzados por los alumnos en las cuestiones de la prueba.

	Nivel mínimo	Nivel máximo	Media	Desviación estándar
Cuestión 1	1	4	2,93	0,861
Cuestión 2	1	4	3,40	0,924
Cuestión 3	1	4	2,50	1,000
Cuestión 4	1	4	3,12	0,976

3. Las principales concepciones alternativas de los alumnos investigados, sobre Física Básica de Semiconductores, se recogen en el **cuadro 1**.

CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS

A la vista de los resultados obtenidos en la investigación, estamos en condiciones de afirmar que existe un marco consistente de concepciones y razonamientos de alumnos de Secundaria (14-15 años) sobre el comportamiento físico de los semiconductores. Asimismo, hemos confirmado que el alumnado ha logrado, desde una perspectiva global, un nivel cognitivo medio, y que las dificultades de aprendizaje observadas son similares a las del resto de contenidos de Física y Química. En consecuencia, se pone de manifiesto la viabilidad de emprender la enseñanza de nociones básicas de Física de Semiconductores en la ESO, como apoyo esencial para el aprendizaje de la Electrónica en el Área de Tecnología.

Es preciso destacar, también, que la introducción de nociones de Física de Semiconductores en la ESO, no debe tener una finalidad propedéutica, sino el propósito de promover una alfabetización científica, en el ámbito de la Electrónica Física, desde los niveles básicos de enseñanza.

Por último, hemos de decir que los resultados de esta investigación no son más que la punta de lanza de un campo de investigación didáctica aún poco explorado; si bien, suponen un referente importante con vistas a emprender nuevas investigaciones, que profundicen en los aspectos aquí expuestos, y arrojen luz sobre la problemática planteada.

- Se asume que el comportamiento eléctrico intermedio de los semiconductores, a temperatura ambiente, viene dado por una especie de dualidad conductor-aislante de los semiconductores.
- Se cree que el comportamiento de un semiconductor es el mismo que el de un material conductor a altas temperaturas, es decir, mal conductor.
- Se observa una incapacidad de interpretar una gráfica de relación entre parámetros físicos, como es el caso de la resistividad de un semiconductor frente a la temperatura; lo que confirma las dificultades de tipo matemático en el aprendizaje de la Física a estas edades (14-15 años).
- Se confunde la relación causa-efecto entre la temperatura y la resistividad de un semiconductor; se piensa que los cambios de temperatura del mismo vienen determinados por los cambios de la resistividad.
- Se observan dificultades en asumir que un hueco (vacante de la red) tiene carga positiva; lo cual viene motivado por el hecho de que no entienden que esa propiedad surge como consecuencia del modelo del enlace covalente, empleado para explicar el comportamiento de un semiconductor.
- Se piensa que un hueco existe aun cuando se produce el proceso de recombinación, como si fuese una especie de 'funda' del electrón ligado a la red.
- Se piensa que el proceso de recombinación consiste en una atracción electrostática de cargas de signos opuestos (huecos y electrones libres).
- Se asume que la carga del hueco viene determinada por la ausencia o no de un electrón; es decir, en la generación el hueco adquiere carga positiva, y en la recombinación, carga negativa (la del electrón).

CUADRO 1
Concepciones alternativas de los alumnos de ESO sobre nociones de Física de Semiconductores.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ROSADO, L. (1995). *Microelectrónica para Profesores de Ciencias y Tecnología*. 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). 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. (2004). 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), pp. 265-272.

ANEXO

CUESTIONARIO SOBRE EL COMPORTAMIENTO FÍSICO DE SEMICONDUCTORES INTRÍNSECOS

Cuestión 1

La configuración electrónica del elemento que compone cierto material es (2, 8, 4). A temperatura ambiente:

- a) Es mejor conductor que los metales
- b) Es mejor aislante que los no metales
- c) Es mejor conductor que los no metales y peor conductor que los metales
- d) Es peor conductor que los no metales y peor aislante que los metales

Explicación:

Cuestión 2

Con el fin de hacer una clasificación de los materiales según su conducción eléctrica, se realizó una experiencia con el circuito de la figura 1. Consiste en una pila, unos cables y una bombilla. Entre los puntos A y B del circuito se conectan tres materiales distintos, a, b y g. Después de la experiencia, se observa lo siguiente:

- a) Al colocar entre A y B el material a, no se ve ningún cambio en el estado de la bombilla; es decir, no se enciende.
- b) Al colocar entre A y B el material b, la bombilla se enciende.
- c) Al colocar entre A y B el material g, se observa que la bombilla se calienta pero no se enciende (algo parecido sucede cuando se conecta una bombilla de un determinado voltaje a un voltaje inferior).

Indica qué tipo de material (conductor, aislante o semiconductor) es a, b y g, utilizados en la experiencia. Razona tu respuesta.

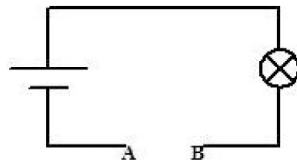
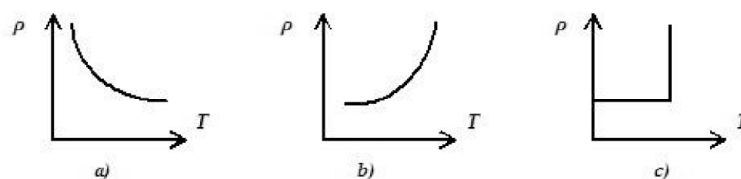


FIGURA 1

Esquema para observar la conducción eléctrica en distintos materiales.

Cuestión 3

Señala cuál de las siguientes gráficas representa la variación de la resistividad ρ de un semiconductor puro con la temperatura.



Explicación:

Cuestión 4

Un semiconductor intrínseco:

- a) Tiene más electrones libres que huecos.
- b) Tiene el mismo número de electrones libres y huecos.
- c) Tiene más huecos que electrones.

Explicación:

Cuestión 5

Los huecos (elige la opción correcta):

- a) No poseen carga eléctrica.*
- b) Tienen carga negativa.*
- c) Poseen la misma carga que los electrones pero con signo positivo.*

Explicación:

Cuestión 6

En el proceso de generación:

- a) Aparece un par electrón-hueco en el semiconductor.*
- b) Aparece un hueco y desaparece un electrón libre.*
- a) Aparecen más electrones libres que huecos.*

Explicación: