

# Comprensión del concepto de hueco en Física de Semiconductores: resultados de un estudio con estudiantes de 14-15 años

Antonio García-Carmona

Área de Ciencias, Colegio Luisa de Marillac (Sevilla).  
E-mail: [agarciaca@cofis.es](mailto:agarciaca@cofis.es)

*In this paper, we show the results of a pilot study about the 14-15 years old students' understanding of the hole concept. We describe and analyse the students' most frequent conceptions and interpretations, with regard to this concept. It is part of an educational project oriented to introduce basic notions of Physics of Semiconductors in Sciences (Physics and Chemistry) curriculum of Secondary Education.*

## Introducción

En España, el estudio de la Electrónica se introduce a partir de la Educación Secundaria en el área de Tecnología. Su enseñanza se plantea en el marco de una aproximación por bloques de sistemas y subsistemas electrónicos, en la línea propuesta por Geddes (1984), sin tratar los aspectos científicos que gobiernan su funcionamiento. Pero la Electrónica también es una ciencia experimental, de hecho han sido los avances en Física del Estado Sólido –concretamente, de los sólidos semiconductores– los que han propiciado un destacado desarrollo de la misma (Jenkins, 2005). De manera que, desde una perspectiva epistemológica y didáctica, una educación básica y adecuada en Electrónica debe incluir nociones de Física de Semiconductores (Rosado & García-Carmona, 2005a).

Desde hace años, en países como Francia (Polev, 1989), Reino Unido (Ainley, 1984; Bevis, Gough & Deeson, 1985; Summers, 1985), Albania (Corati, Mulaj & Corati, 1995) y Finlandia (Lavonen & Meisalo, 2000), la Electrónica se incluye tanto en el currículo de Ciencias como de Tecnología de Secundaria, con resultados satisfactorios.

Motivados por ello, desde hace varios cursos venimos trabajando en un proyecto orientado a impulsar la enseñanza de nociones de Física de Semiconductores en Educación Secundaria. Pretendemos que la temática llegue a consolidarse como un contenido básico del currículo de Física y Química de dicha etapa, con el fin de apoyar y comple-

mentar la enseñanza de la Electrónica llevada a cabo en el área de Tecnología.

Entre los objetivos del proyecto destaca el análisis de los niveles de comprensión de los alumnos, en relación con el comportamiento de los semiconductores, una vez concluido el proceso de enseñanza/aprendizaje. Concretamente, se intenta conocer cuáles son las ideas y modos de razonamiento más frecuentes de los alumnos, porque su conocimiento permite mejorar, de forma progresiva, las estrategias didácticas y metodológicas planteadas en la enseñanza de la temática.

El propósito de este trabajo es describir y analizar algunas de tales ideas y razonamientos que, por razones de espacio, circunscribimos al *concepto de hueco*; uno de los conceptos básicos de la Física de Semiconductores.

## Un modelo para enseñar Física de semiconductores en Secundaria

En la enseñanza de los semiconductores se suelen utilizar dos modelos para representar su estructura y comportamiento (Pierret, 1994): el modelo bidimensional del enlace covalente y el modelo de bandas de energía. Teniendo en cuenta las características cognitivas del alumnado de Secundaria, consideramos que el más apropiado es el *modelo bidimensional del enlace covalente* (Figura 1). Se trata de un modelo clásico y simplificado de la estructura de un semiconductor intrínseco (de Silicio o Germanio), que permite hacer una primera introducción al estudio de estos materiales (Desmarais, 1986). Además, su uso está en concordancia con lo sugerido en el currículo de Física y Química de Secundaria, donde se aconseja el estudio de la estructura de la materia desde una perspectiva clásica. El modelo de bandas de energía plantearía dificultades importantes a los alumnos de niveles básicos, ya que se fundamenta en la teoría cuántica, que es introducida a partir de Bachillerato (16-18 años).

A la hora de introducir el *concepto de hueco*, se hace necesario hablar de los procesos de generación y recombinación de pares electrón-hueco. Para ello, recurrimos al concepto de energía de ionización y a la teoría cinética<sup>1</sup>; dos tópicos esenciales del currículo de Física y Química de Secundaria. Se intenta que los alumnos entiendan que, durante la *generación*, los electrones ligados a los átomos de la red, al

<sup>1</sup> Esta teoría nos permite explicar cómo mejora la conductividad eléctrica en los semiconductores a altas temperaturas. En efecto, si se sube la temperatura del material, los átomos aumentan la amplitud de vibración respecto a sus posiciones fijas de la red covalente. Ello produce rupturas en los enlaces y, por tanto, la liberación de electrones –cuando se supera la correspondiente energía de ionización–, que estarán disponibles para formar parte de una corriente eléctrica, si se le aplica el voltaje correspondiente.

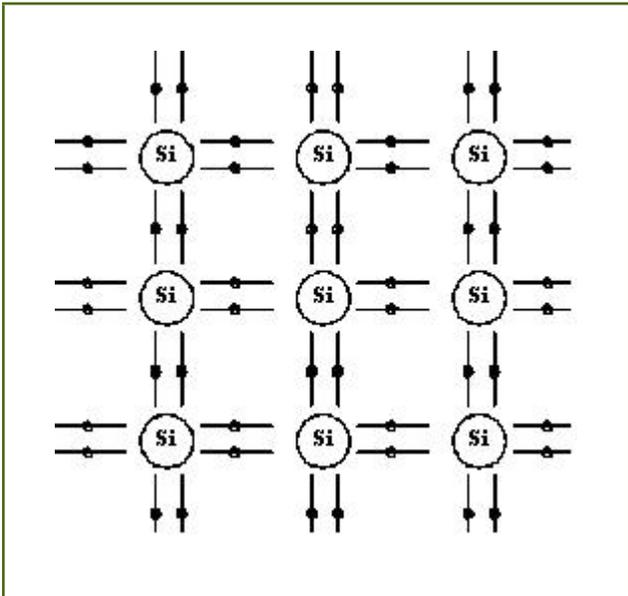


Figura 1. Modelo bidimensional de la estructura de un material semiconductor intrínseco de Silicio/Germanio.

adquirir la energía suficiente para romper el enlace (energía de ionización) –a consecuencia de un aumento de la temperatura del material–, pasan a ser electrones libres dejando una vacante en la red (Figura 2). Mientras que en el *proceso de recombinación*, los electrones libres pierden parte de su energía, debido a los múltiples choques con la estructura de la red, y vuelven a ligarse a los átomos de la misma ocupando el espacio dejado por otro electrón liberado.

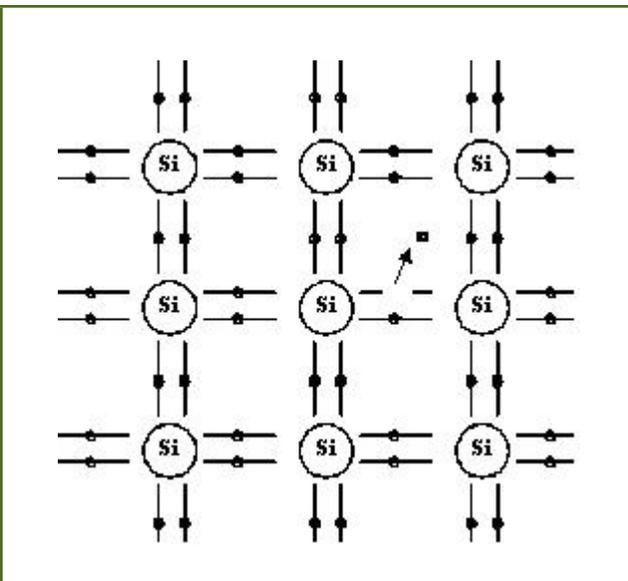


Figura 2. Generación de un par electrón-hueco.

En este contexto, se introduce el hueco como la vacante que deja un electrón liberado de la red, en el proceso de generación, y que desaparece cuando se produce el proceso de recombinación. Como el movimiento de los huecos es opuesto al de los electrones libres (Figura 3), cuando se aplica un voltaje al semiconductor éstos se comportan como si formasen una corriente eléctrica de cargas positivas, que circula en sentido contrario a la corriente de los electrones. Por ello, a los huecos se le asigna una carga positiva de valor  $1,6 \cdot 10^{-19}$  C.

Es comprensible que, al principio, los alumnos tengan dificultades para entender que un hueco es al mismo tiempo una carga y un “vacío”. Este tipo de dificultades son consecuencia de las limitaciones que, a veces, son inherentes a los modelos que se utilizan en las Ciencias y su enseñanza. La asignación de  $1,6 \cdot 10^{-19}$  C, como valor de carga de los huecos, también puede originar conflictos conceptuales en los alumnos, ya que pueden confundir a los huecos con protones (Rosado & García-Carmona, 2004, 2005b). En este sentido, se debe aclarar que existen dos diferencias fundamentales entre ellos: la primera, que los protones sí son cargas reales, mientras que los huecos no; y la segunda, que los protones no pueden moverse y generar corrientes eléctricas –al encontrarse en el interior de los núcleos atómicos–, mientras que los huecos sí.

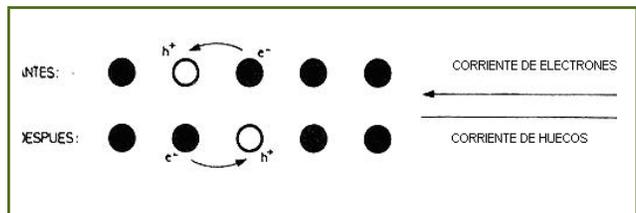


Figura 3. Movimiento de electrones y huecos en un semiconductor.

La introducción de los *semiconductores extrínsecos* se justifica por la necesidad de dopar con impurezas a los semiconductores intrínsecos, con el fin de aumentar su conductividad eléctrica y, por tanto, mejorar sus aplicaciones prácticas en Electrónica. El *dopado* se obtiene mediante la introducción de *impurezas* (átomos) en un semiconductor intrínseco (formado por átomos tetravalentes). Se pretende que los alumnos comprendan que las impurezas introducidas no deben producir alteraciones importantes en la estructura inicial del semiconductor intrínseco; por este motivo, se introducen átomos pentavalentes o trivalentes, cuyos tamaños son similares a los del semiconductor intrínseco. La idea es que entiendan que las impurezas utilizadas en aumentar la concentración de electrones libres son átomos, principalmente, de P, As y Sb (*impurezas donadoras*) (Figura 4). Y que para aumentar la concentración de hue-

cos, se añaden, fundamentalmente, átomos de *B*, *Ga*, *In* o *Al* (*impurezas aceptoras*) (Figura 5).

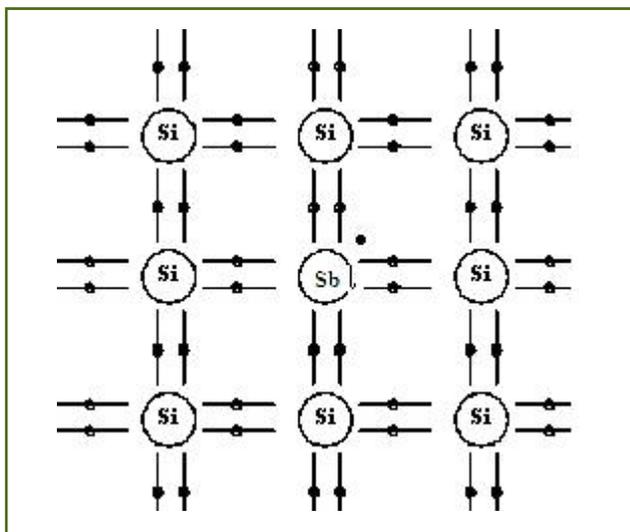


Figura 4. Generación de un electrón libre mediante la introducción de una impureza donadora de antimonio (Sb).

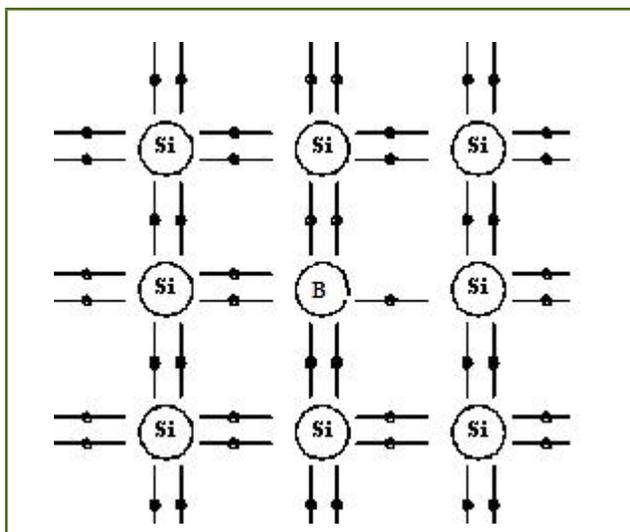


Figura 5. Generación de un hueco mediante la introducción de una impureza aceptora de boro (B).

El hecho de que en los semiconductores extrínsecos existan distintas cantidades de electrones libres y huecos, puede inducir a los alumnos a pensar que no son eléctricamente neutros. En este sentido, se trata de hacer hincapié en que las impurezas introducidas, ya sean donadoras o aceptoras, son átomos y que, por tanto, aportan el mismo número de electrones y de protones al semiconductor. Aunque el átomo

insertado quede ionizado, al ocupar el lugar de un átomo de Si o Ge, el semiconductor continúa siendo neutro. También se subraya que dichos iones (positivos si proceden de impurezas donadoras, o negativos, de impurezas aceptoras), no contribuyen a la conducción eléctrica, ya que ocupan posiciones fijas en la estructura cristalina y no se mueven; en caso contrario, ello supondría la ruptura del material (Pierret, 1994).

### Estudio realizado

El estudio exploratorio que presentamos, se llevó a cabo durante los cursos 2002/03 y 2003/04, con 60 alumnos y alumnas de 3º de Educación Secundaria (14-15 años), que cursaban las asignaturas de Física y Química y de Tecnología. Se desarrolló en un *espacio natural de la práctica docente*, es decir, con todos los alumnos a los que impartía clases de ambas asignaturas el profesor-investigador.

Antes de analizar los niveles de comprensión respecto al concepto de hueco, los alumnos fueron instruidos mediante una propuesta de enseñanza, diseñada en el marco didáctico descrito anteriormente. La propuesta, que por razones de espacio no incluimos aquí<sup>2</sup>, enlaza con los contenidos de electricidad y estructura de la materia, del actual currículo de Física y Química de Secundaria. En su puesta en práctica se promueve el *proceso de aprendizaje como investigación orientada* (Gil et al., 1991). Esto es, se intenta que los alumnos, en un clima de cooperación, afronten el aprendizaje de los nuevos contenidos a partir de sus propias ideas –relacionadas con el tema–, de la información proporcionada en las actividades, y con las orientaciones y aclaraciones del profesor. En este sentido, como procedimientos de aprendizaje se fomentan la formulación de hipótesis, el análisis e interpretación de datos, la discusión de las hipótesis, y la elaboración de conclusiones. Después, con las puestas en común de las actividades, se pretende que los alumnos comprueben y evalúen, junto al profesor, sus progresos y dificultades de aprendizaje.

Respecto a esto último, aclaramos que, dada la especificidad del propósito del presente trabajo, no haremos alusión al análisis de tales aspectos (procedimentales y actitudinales del aprendizaje), que también son objeto de evaluación del proyecto. Nos limitaremos, pues, a describir y analizar los niveles de comprensión de los alumnos respecto al concepto de hueco.

<sup>2</sup> Se desarrolla íntegramente en Rosado & García-Carmona (2002).

### Metodología de investigación

Una vez concluido el proceso de enseñanza/aprendizaje, los alumnos contestaron a una serie de cuestiones (cuadro 1), con el fin de valorar los niveles de conocimiento declarativo alcanzados por los alumnos respecto al concepto de hueco. Además, con idea de complementar la información obtenida mediante el cuestionario, y profundizar así en las concepciones y modos de razonamiento de los alumnos, se hicieron entrevistas personales sobre los mismos aspectos.

En el análisis de las respuestas de los alumnos a las cuestiones, establecimos los siguientes criterios de clasificación:

– *Nivel 1*: Respuesta en blanco.

- *Nivel 2*: Respuesta incorrecta o confusa en el sentido de que no comprende o no aplica adecuadamente los conceptos manejados.
- *Nivel 3*: Respuesta en la línea correcta, pero se justifica de manera incompleta o con imprecisiones.
- *Nivel 4*: Respuesta correcta y justificada adecuadamente.

Tendiendo en cuenta la clasificación anterior, y el marco didáctico descrito, resultan especialmente interesantes las respuestas de niveles 2 y 3. Éstas nos permiten conocer las concepciones erróneas o alternativas más frecuentes de los alumnos, con vistas a ir perfeccionando, sucesivamente, las estrategias de enseñanza/aprendizaje de los semiconductores en Educación Secundaria.

#### 1. Los huecos en un semiconductor:

- a) No poseen carga eléctrica.
- b) Poseen carga eléctrica negativa.
- c) Poseen carga eléctrica positiva.

Justificación de la respuesta:

#### 2. Explica cómo se genera un electrón libre de un semiconductor a partir del dopado con una impureza donadora.

#### 3. ¿Cómo se obtiene un semiconductor extrínseco tipo p?

#### 4. Si a un semiconductor intrínseco le introducimos impurezas donadoras, ¿seguirá siendo eléctricamente neutro? Razona tu respuesta

**Cuadro 1.** Cuestiones para la detección de ideas y razonamientos de los alumnos en torno al concepto de hueco.

## Resultados y discusión

A continuación, presentamos los resultados obtenidos con el cuestionario (cuadro 1), aplicado en los dos cursos académicos mencionados. Describimos los niveles de comprensión y las concepciones alternativas más significativas de los alumnos, en lo referente al concepto de hueco.

### Cuestión 1

Los niveles de respuestas más bajos se situaron en torno al 7%, para el nivel 1, y sobre el 30% para el nivel 2. La idea alternativa más frecuente consiste en no asumir que el hueco tiene carga positiva. Es decir, hay alumnos que no entienden que esa propiedad es consecuencia del modelo del enlace covalente empleado para explicar el comportamiento de un semiconductor. Otra idea alternativa consiste

en creer que el hueco tiene existencia aún después de producirse el proceso de recombinación; como si fuese una especie de «funda» del electrón, que adquiere la carga de este último.

El nivel 3 es alcanzado por casi el 50% de los alumnos. En este nivel, los alumnos tienen claro que los huecos tienen carga positiva, pero no lo justifican de forma adecuada. Por ejemplo, algunos indican que la carga positiva del hueco se pone de manifiesto porque los electrones libres caen en los huecos cuando se produce el proceso de recombinación; esto es, piensan que el proceso de recombinación es como una interacción electrostática de dos cargas opuestas:

*«Yo creo que tienen carga, y además positiva, porque así, en el proceso de recombinación atrae a los electrones, ya que si fuese negativo, repelería a los electrones.»* [Luis, curso 2002/03].

El nivel 4 sólo es alcanzado por algo más de un 13% de los alumnos. Ejemplo de respuesta de este nivel:

«Se suele decir que los huecos tienen carga positiva porque siempre van en sentido contrario que los electrones (negativos), pero los dos tienen el mismo valor de carga. Esa carga positiva del hueco no existe, pero al poner en un extremo [del semiconductor] un polo positivo y al otro un polo negativo [aplicación de un voltaje], los electrones se irán hacia el polo positivo y los huecos al negativo. Por eso decimos que tienen 'carga positiva'.» [Cristina, curso 2003/04; no-cursiva añadida].

### Cuestión 2

Casi un 20% de los alumnos no contestó a la cuestión (nivel 1), y cerca del 17% respondió incorrectamente (nivel 2). Observamos que los alumnos creen que el dopado de un semiconductor con impurezas donadoras se hace con la finalidad de tapar a los huecos, como si estos fuesen “defectos” de la red cristalina del semiconductor. El nivel 3 es manifestado por algo más de un 20% de los alumnos, y se caracteriza por justificaciones incompletas; por ejemplo, no se aclara qué características deben tener las impurezas donadoras. Y el nivel 4 fue conseguido por un 43% de los alumnos, que justificaron correctamente sus respuestas de forma similar a la siguiente:

«Cuando dopamos a un sólido covalente de germanio, por ejemplo con átomos de antimonio, generamos más electrones libres que huecos. Esto sucede porque el antimonio tiene 5 electrones de valencia y sólo puede compartir 4 con los átomos de germanio que lo rodean; por eso le sobra uno, que pasará a ser electrón libre.» [El alumno añade un esquema similar a la figura 4] [Samuel, curso 2002/03].

### Cuestión 3

El 10% de los alumnos dejó su respuesta en blanco (nivel 1), y sobre un 23% contestó de manera equivocada (nivel 2). Una de las concepciones alternativas más frecuentes es que los huecos participan en la neutralidad eléctrica de los semiconductores, como si fuesen cargas físicas (reales); es decir, creen que los semiconductores tipo *p* están cargados positivamente. El nivel 3 es alcanzado por la tercera parte de los alumnos, que eligen la opción correcta, pero en su justificación cometen algunas equivocaciones. Por ejemplo, parte del alumnado piensa que las impurezas aceptoras son, directamente, huecos y no átomos trivalentes.

El nivel más alto de conocimiento (nivel 4) es logrado por otro tercio de los alumnos. Un ejemplo de respuesta de este nivel:

«[...] Se introducen impurezas aceptoras porque tienen 3 electrones de valencia; entonces, al tener los átomos del semiconductor un electrón de valencia más, al enlazarse

con las impurezas, quedan huecos en la estructura del semiconductor. Entonces tiene más huecos que electrones libres, y, por eso, se llama semiconductor extrínseco tipo *p* (de 'positivo').» [Patricia, curso 2003/04].

### Cuestión 4

Fue la cuestión donde se obtuvo mayor porcentaje de respuestas incorrectas. La respuesta no fue contestada por el 10% de los alumnos (nivel 1), y sobre un 60% contestó de manera incorrecta (nivel 2). La concepción alternativa más significativa, que ya fue detectada en la cuestión anterior, consiste en considerar que un semiconductor extrínseco no es eléctricamente neutro; porque los alumnos analizan la neutralidad en términos de un balance entre el número de electrones libres y huecos. El nivel 3 fue alcanzado por un 10% de los alumnos, y el nivel más alto (nivel 4) por un 20%. Ejemplo de respuesta de nivel 4:

«Sí, seguirá siendo neutro porque aunque al dopar el semiconductor se tengan más electrones libres que huecos, como en este caso, el número de electrones y de protones sigue siendo el mismo; y eso es lo que de verdad importa para la neutralidad. Los átomos (impurezas) que se introducen son de por sí neutros, entonces el semiconductor seguirá siendo neutro.» [Cristina, curso 2003/04].

A fin de presentar de un modo global y conciso los niveles de respuesta obtenidos en el cuestionario, se muestra el gráfico de la Figura 6.

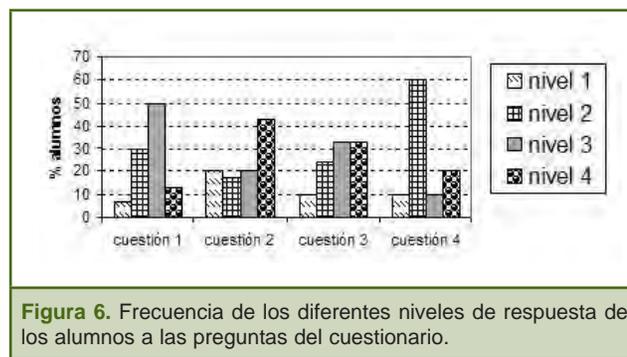


Figura 6. Frecuencia de los diferentes niveles de respuesta de los alumnos a las preguntas del cuestionario.

Como ya hemos dicho, también se hicieron entrevistas personales con objeto de profundizar en los aspectos tratados en el cuestionario. Se entrevistó a una veintena de alumnos, escogidos al azar, dos semanas después de concluir el proceso de enseñanza/aprendizaje. En dichas entrevistas se observaron, prácticamente, las mismas ideas y argumentaciones que con el cuestionario; si bien, por motivos de espacio, sólo exponemos algunos fragmentos de las mismas en el cuadro 2.

En el cuadro 3 se sintetizan las concepciones alternativas más frecuentes de los alumnos, relativas al concepto de hueco, detectadas con el cuestionario y en las entrevistas personales.

<p><b>Idea de hueco como "funda" del electrón.</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Profesor:</b> <i>¿Qué es un hueco en un semiconductor?</i></li> <li>- <b>Cristina [curso 2003/2004]:</b> <i>Es donde estaba el electrón; en verdad no hay nada, es donde estaba su cavidad.</i></li> </ul>
<p><b>Concepción del proceso de recombinación como una interacción electrostática entre un electrón y un hueco.</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Profesor:</b> <i>¿Tienen carga eléctrica los huecos?</i></li> <li>- <b>Isra [curso 2003/2004]:</b> <i>Sí. Los huecos... poseen la misma carga que los electrones, pero positiva, porque... el electrón ocupa el sitio del hueco, entonces se atraen. Las cargas de distinto signo se atraen y por eso quedan ligados.</i></li> </ul>
<p><b>Argumentos considerados como correctos respecto a las propiedades de los huecos.</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Profesor:</b> <i>¿Qué es un hueco semiconductor?</i></li> <li>- <b>Carlos [curso 2003/2004]:</b> <i>Es la carga..., bueno, se le atribuye una carga positiva</i></li> <li>- <b>Profesor:</b> <i>¿Se mueve un hueco?</i></li> <li>- <b>Carlos:</b> <i>Sí.</i></li> <li>- <b>Profesor:</b> <i>¿Cómo se mueve?</i></li> <li>- <b>Carlos:</b> <i>Por ejemplo, tenemos aquí (señala un punto de la mesa con el dedo) un espacio libre, un hueco, y aquí un electrón, y este electrón libre se va al hueco, podemos decir entonces que el electrón libre se ha movido o que el hueco se ha movido (señala con el dedo el recorrido del hueco, en sentido contrario al que indicó para el electrón libre).</i></li> <li>- <b>Profesor:</b> <i>¿Es lo mismo un hueco que un protón?</i></li> <li>- <b>Carlos:</b> <i>No. El protón sí tiene carga eléctrica positiva verdadera; al hueco se le atribuye, pero no tiene carga real.</i></li> </ul>

**Cuadro 2.** Fragmentos de algunas de las entrevistas realizadas a los alumnos respecto al concepto de hueco

<p><b>Noción científica</b></p>	<p><b>Ideas y razonamientos alternativos más frecuentes</b></p>	<p><b>Ejemplos de respuestas</b></p>
<p>Definición de hueco</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Se asumen las propiedades corpusculares asignadas a los huecos en un semiconductor.</li> <li>- Se concibe el hueco como un funda permanente de electrones</li> </ul>	<p>"Los huecos no poseen carga eléctrica porque en realidad un hueco no existe, y por tanto, no tiene carga". [Jesús, curso 2002/03]</p> <p>"El hueco es como si fuera una invención nuestra. En realidad no existe, bueno, existe pues hay un hueco, pero... es difícil de entender". [Javier, curso 2003/04]</p> <p>"Los huecos no poseen carga eléctrica, pero cuando son ocupados por los electrones cogen la carga de estos". [Ángela, curso 2003/04]</p> <p>"Es donde estaba el electrón; en verdad no hay nada, es como su cavidad". [Cristina, curso 2002/03]</p>

**Cuadro 3.** Principales concepciones alternativas de los alumnos de 14-15 años, en relación con el concepto de hueco en un semiconductor.

Noción científica	Ideas y razonamientos alternativos más frecuentes	Ejemplos de respuestas
Huecos y estado eléctrico de un semiconductor	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Se piensa en la generación de pares electrón-hueco como un proceso de atracción electrostática de dos cargas de signo opuesto: electrón (carga negativa) y hueco (carga positiva).</li> </ul>	<p>"Los huecos poseen carga de signo positivo, ya que el electrón ocupa el sitio del hueco, entonces se atraen; cargas de distinto signo se atraen y quedan ligados". [Fede, curso 2003/04]</p>
Huecos en el proceso de dopado	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Se piensa que los huecos son una especie de defectos de la red cristalina del semiconductor, que deben ser corregidos mediante la introducción de impurezas donadoras.</li> </ul>	<p>"El dopado de un semiconductor consiste en meter electrones libres para rellenar huecos que hay en un semiconductor". [Begoña, curso 2003/04]</p>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Se piensa que las impurezas aceptadoras son directamente huecos.</li> </ul>	<p>"[...] las impurezas aceptadoras son huecos que tiene carga positiva, entonces al darle impurezas aceptadoras al semiconductor hay más portadores de carga positiva [...]". [Paco, curso 2002/03]</p>
Huecos y estado de un semiconductor	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Se cree que los huecos participan en el estado eléctrico de los semiconductores, como si fuesen cargas físicas (reales)</li> </ul>	<p>"Si a un semiconductor le introducimos impurezas [...] habrá mayor número de electrones que de huecos; por eso no continúa siendo eléctricamente neutro". [Amadeo, curso 2003/04]</p> <p>"Los semiconductores tipo p son semiconductores de carga positiva, y las impurezas aceptadoras son las que originan huecos dentro del semiconductor. Por eso, al tener más huecos que electrones, estará cargado positivamente". [Dani, curso 2003/04]</p>

**Cuadro 3.** Principales concepciones alternativas de los alumnos de 14-15 años, en relación con el concepto de hueco en un semiconductor. (Continuación)

### Conclusiones y perspectivas

En este trabajo, hemos presentado los resultados de un estudio exploratorio, que forma parte de un proyecto orientado a introducir y consolidar la enseñanza de nociones de Física de Semiconductores en Educación Secundaria. El estudio se ha circunscrito al análisis de las ideas y modos de razonamiento de los alumnos sobre uno de los conceptos fundamentales en Física de Semiconductores: el concepto de hueco.

A la vista de los resultados obtenidos, y desde una perspectiva global, podemos decir que los alumnos han desarrollado ideas y razonamientos con ciertas imprecisiones y equivocaciones respecto a la concepción de hueco aceptada científicamente. Teniendo en cuenta que nos encontramos en los primeros pasos de nuestro proyecto didáctico, ello no lo concebimos como un resultado negativo. Somos

conscientes de la dificultad que supone lograr un aprendizaje significativo en Física de Semiconductores, y más aún en los niveles básicos de la educación.

Pero estamos convencidos de que los alumnos de Secundaria pueden aprender significativamente contenidos abstractos, como los relacionados con la Física de Semiconductores. La cuestión radica en cómo enfocar adecuadamente la enseñanza de tales contenidos y cómo ir mejorándola progresivamente. Por eso, pensamos que un resultado interesante del estudio es la detección de un marco de concepciones y razonamientos de alumnos de 14-15 años, sobre el concepto de hueco. Su conocimiento y análisis nos va a permitir perfeccionar, de forma paulatina, la eficacia de nuestra propuesta de enseñanza en acciones sucesivas.

Por último, se hace preciso aclarar que los resultados presentados no son generalizables a otros contextos educativos, ya que no se ha realizado ningún proceso de muestreo probabilístico de los alumnos investigados; el estudio se ha llevado a cabo en un marco habitual o natural de la práctica docente. Sin embargo, pensamos que dichos resultados pueden contribuir al fomento de nuevas investigaciones en la línea planteada. Así pues, esperamos que sean considerados como un referente importante en el diseño de nuevas investigaciones, que profundicen en los aspectos aquí tratados.

## Referencias

- [1] AINLEY, D. (1984). Some strategies for a teaching electronics to less able pupils. *The School Science Review* **66**, 31-38.
- [2] BEVIS, G., GOUGH, C. & DEESON, E. (1985). **Ban Electronics** from school physics! *Physics Education* **20**, 109-110.
- [3] CORATI, R., MULAJ, Z. & CORATI, K. (1995). A new approach to the teaching of semiconductors in the secondary schools of Albania. International Conference "Teaching the science of condensed matter and new materials". Italy, 24-30 August 1995.
- [4] DESMARAIS, D. (1986). Semiconducteurs et diodes. *Bulletin de L'Union des Physiciens* **683**, 735-750.
- [5] GEDDES, M. (1984). The systems approach in electronics teaching. *Physics Education* **19**(6), 268-275.
- [6] GIL, D., CARRASCOSA, J., FURIÓ, C. & MARTÍNEZ-TORREGROSA, J. (1991). *La enseñanza de las Ciencias en la Educación Secundaria*. Barcelona: Horsori/ICE Universidad de Barcelona.
- [7] JENKINS, T. (2005). A brief history of... semiconductors. *Physics Education* **40**, 430-439.
- [8] LAVONEN, J. & MEISALO, V. (2000). Science teachers and technology teachers developing electronics and electricity courses together. *International Journal of Science Education* **22**(4), 435-446.
- [9] PIERRET, R. F. (1994). *Semiconductor Device Fundamentals* (2ª ed.). USA: Addison-Wesley.
- [10] POLEV, N. M. (1989). Base physique d'électronique dans l'enseignement secondaire: module méthodologique. En *Serie documents, Enseignement scientifique et technique* **34**. París: UNESCO.
- [11] ROSADO, L. & GARCÍA-CARMONA, A. (2002). Programagüa sobre Física de Semiconductores en la Electrónica de la Educación Secundaria Obligatoria. En Rosado, L. y Cols. (Eds.), *Didáctica de la Física y sus Nuevas Tendencias*, 775-846. Madrid: UNED.
- [12] ROSADO, L. & GARCÍA-CARMONA, A. (2004). Concepciones y dificultades de aprendizaje de estudiantes de Secundaria sobre el comportamiento eléctrico de los semiconductores y otros materiales. *XXI Encuentros de Didáctica de las Ciencias Experimentales. La Didáctica de las Ciencias Experimentales ante las Reformas Educativas y Convergencia Europea*, 273-280. San Sebastián: Universidad del País Vasco.
- [13] ROSADO, L. & GARCÍA-CARMONA, A. (2005a). Some didactic and epistemological considerations for the introduction of basic knowledge on physics of semiconductors in secondary school. *Journal of Physics Teacher Education Online* **3**(1), 21-24. <<http://www.phy.ilstu.edu/jpteo>>
- [14] ROSADO, L. & GARCÍA-CARMONA, A. (2005b). Introducción a la Física de Semiconductores en la educación científica básica: primeros resultados. *Enseñanza de las Ciencias: VII Congreso Internacional sobre Investigación en la Didáctica de las Ciencias* (Granada, España). <<http://www.blues.uab.es/rev-ens-ciencias>>
- [15] SUMMERS, M. K. (1985). Electronics 11-18: a coordinated programme for the School Physics Curriculum. *Physics Education* **20**(2), 55-61.