

Ideas de profesorado de Física y Química, en formación inicial, sobre nociones básicas de física de semiconductores



Antonio García-Carmona

Departamento de Didáctica de las Ciencias, Universidad de Sevilla, España.

E-mail: garcia-carmona@us.es

(Recibido el 27 de Julio 2010; aceptado el 16 de Septiembre de 2010)

Resumen

En este trabajo se justifica la necesidad de integrar nociones básicas de física de semiconductores en el curriculum de Física y Química de Educación Secundaria Obligatoria (ESO), como apoyo esencial para el aprendizaje de la electrónica básica en el área de Tecnología. Se argumenta que su viabilidad es posible en la medida en que el profesorado posea una adecuada formación didáctica y científica sobre el tema. En consecuencia, y como núcleo central de este trabajo, se muestran y discuten los resultados de una investigación acerca de las concepciones de profesores de Física y Química, en formación inicial, sobre física básica de semiconductores.

Palabras clave: Electrónica, Física de Semiconductores, Formación del profesorado, Educación Secundaria Obligatoria, Ideas del profesorado.

Abstract

In this paper, the need to integrate basic notions of semiconductor physics in the Physics and Chemical curriculum of Secondary School is justified, as an essential support for learning basic electronics in the curricular area of Technology. It is argued that its viability is possible if teachers have an adequate didactic and scientific knowledge on the topic. Consequently, and as central nucleus of the work, the results of an investigation about the physics and chemistry teachers' conceptions, in initial training, on basic semiconductor physics is showed and discussed.

Keywords: Electronics, Physical of Semiconductors, Secondary School, Teachers' ideas, Teachers' training.

PACS: 01.40.Fk, 01.40.J-, 01.40.gb

ISSN 1870-9095

I. INTRODUCCIÓN

El desarrollo científico y tecnológico de los últimos años, producido, principalmente, en el ámbito de la electrónica, ha condicionado nuestro estilo de vida. Es difícil encontrar un aspecto de la sociedad, que no haya sido profundamente afectado por el uso de aparatos electrónicos. Su presencia es destacada en el mundo del trabajo, el hogar, la educación, la cultura y el ocio. Es posible afirmar, incluso, que el desarrollo de la electrónica ha dado origen al concepto mismo de sociedad moderna [1].

En España, dentro del curriculum de Tecnología de Educación Secundaria Obligatoria (en adelante, ESO), el estudio de la electrónica básica se introduce en el nivel 15-16 años. Si bien, su introducción se plantea desde una perspectiva funcional basada en una "aproximación por bloques" de sistemas y subsistemas electrónicos, sin que se entre, por tanto, en el estudio de los aspectos científicos que explican su comportamiento. Pero la electrónica, además de su componente tecnológica, es una ciencia experimental; no en vano, han sido los grandes avances en física del estado sólido —concretamente, de los sólidos semiconductores— los que han propiciado el eminente desarrollo de este campo.

En consecuencia, pensamos que una formación básica y adecuada del alumnado en electrónica, requiere también del estudio de los aspectos básicos sobre la estructura y el comportamiento físico de los materiales semiconductores. Es decir, consideramos que es necesario abordar el estudio de las nociones básicas de *física de semiconductores*, como punto de anclaje en la enseñanza/aprendizaje de la electrónica básica de la ESO [2].

Desde hace algunos años venimos trabajando en un proyecto orientado a integrar las nociones básicas de física de semiconductores en el curriculum de Ciencias (Física y Química) de la ESO [2, 3, 4, 5, 6, 7, 8]. El propósito es establecer una formación científica de base, con vistas a favorecer/reforzar el aprendizaje de la electrónica en el área de Tecnología. A la hora de poner en marcha un proyecto de estas características, no sólo es necesaria una formación de tipo pedagógico —por supuesto necesaria—, sino también que el profesorado tenga los conocimientos suficientes sobre la materia a enseñar [9]. De este modo, el profesorado podrá seleccionar aquellos contenidos que, por un lado, proporcionen una visión actual y global del tema y, por otro, resulten más atractivos y asequibles para el alumnado de este nivel educativo.

El diseño de un programa de formación del profesorado, enfocado a la enseñanza del tema en la ESO, debe tener presente las últimas tendencias en didáctica de las ciencias; las ideas y dificultades de enseñanza/aprendizaje sobre la temática de estudio, o afines, así como las concepciones didácticas de los profesores, tanto en ejercicio como en formación inicial. Si bien, para que la enseñanza sea eficaz, también es necesario –como decimos– que el profesorado posea los conocimientos científicos suficientes y básicos sobre la temática de estudio [10, 11]. La falta de conocimientos científicos constituye la principal dificultad a la hora de que el profesorado se implique en actividades educativas innovadoras [9]. Por este motivo, antes de plantear un programa de formación para profesores en *didáctica de la física de semiconductores*, es conveniente conocer cuáles son sus concepciones científicas al respecto.

El estudio de los materiales semiconductores se contempla en el temario oficial de acceso al Cuerpo de Profesorado de Secundaria en la Especialidad de Física y Química en España. Concretamente, en uno de los temas se establece el estudio de *La teoría de bandas; carácter conductor, semiconductor y aislante de las distintas sustancias, e importancia de los semiconductores y superconductores en las nuevas tecnologías*. Sin embargo, después de una revisión bibliográfica exhaustiva, no encontramos trabajos referidos al estudio de las concepciones del profesorado, en formación inicial o en ejercicio, al respecto.

Conscientes de esta situación, realizamos un estudio piloto con titulados universitarios, que participaban en el curso de formación del profesorado de Secundaria para la obtención del Certificado de Aptitud Pedagógica (CAP)¹. El propósito fue conocer las ideas de los “futuros” profesores de Física y Química, sobre nociones básicas de *física de semiconductores*, en el marco curricular de nuestra propuesta de contenidos para el nivel de ESO [2]. El objetivo de este artículo es, por tanto, describir y analizar los resultados obtenidos en el estudio. Asimismo, hacemos algunas reflexiones sobre las expectativas de la enseñanza de la *física básica de semiconductores* en la ESO, desde el punto de vista de la formación del profesorado.

II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y OBJETIVOS DEL ESTUDIO

A la vista de los argumentos expuestos anteriormente, nos planteamos desarrollar un estudio que se concreta en los siguientes interrogantes:

- ¿Cuáles son las concepciones de los futuros profesores de Física y Química (estudiantes de CAP) sobre *física básica de semiconductores*?
- ¿Cuál es el grado de confianza de los futuros profesores de Física y Química en sus concepciones sobre *física básica de semiconductores*?

¹ Durante unas décadas, en España este curso ha sido el que habilitaba a los titulados superiores para poder optar a incorporarse al sistema público de enseñanza. Desde el año 2009, el curso ha sido sustituido por un máster oficial más amplio.

– ¿Existen diferencias significativas en las concepciones sobre *física básica de semiconductores*, entre las diferentes titulaciones universitarias, que acceden a la Especialidad de Física y Química de la Enseñanza Secundaria?

– ¿Qué implicaciones se derivan del estudio de las concepciones de *física básica de semiconductores*, de los futuros profesores de Física y Química de Secundaria, con vistas a establecer una adecuada formación del profesorado en esta materia?

La finalidad del estudio fue, por tanto, buscar respuestas a dichos interrogantes. Esto es, nos propusimos indagar las concepciones de *física básica de semiconductores*, que tiene el profesorado de Física y Química en formación, y analizar las características más relevantes como son la seguridad de tales ideas y las diferencias entre las diferentes titulaciones, que acceden a esta especialidad de la Educación Secundaria.

III. INSTRUMENTO DE INVESTIGACIÓN

Con el fin de llevar a cabo el estudio, empleamos un cuestionario con diez preguntas de respuestas cerradas con opciones múltiples (ver anexo).

A la hora de diseñar el cuestionario, tomamos como referencia otros cuestionarios empleados en investigaciones similares [12, 13, 14]; no obstante, también fue sometido a pruebas de validación. Con objeto de hacer una valoración de su validez interna, se pasó un cuestionario piloto a un grupo reducido de profesores del entorno más próximo del autor. Este profesorado tenía la posibilidad de indicar cualquier tipo de comentario o sugerencia sobre la estructura y el contenido del cuestionario (validez de contenido). La mayoría de las cuestiones fueron diseñadas en coherencia con los contenidos de *física básica de semiconductores*, que proponemos para en nivel de ESO [2].

Todo ello nos permitió elaborar el cuestionario final de respuestas cerradas con opciones múltiples. Entre las ventajas de este tipo de cuestionario (validez de constructo), destacamos las siguientes:

- Permite clasificar rápidamente las respuestas, resulta sencillo y rápido de administrar y fácil de cuantificar a la hora de realizar el correspondiente análisis.
- Asegura que las respuestas obtenidas se den dentro del marco establecido por los investigadores, puesto que todos los encuestados responden en los mismos términos (no se da pie a distintas interpretaciones en una misma pregunta, y se obtiene un marco de respuestas homogéneo).
- La provisión de alternativas de respuesta contribuye a aclarar o matizar el significado de la pregunta.
- Exige un menor esfuerzo al encuestado, en tanto que se limita a señalar la opción de respuesta y no tiene que pensarla, elaborarla y comunicarla; lo que es de utilidad para fomentar la respuesta y devolución del cuestionario.

En el anexo se expone el cuestionario definitivo, si bien las nociones científicas implicadas en las diversas cuestiones se recogen en la tabla I.

TABLA I. Contenidos conceptuales implícitos en el cuestionario.

ÍTEM	NOCIÓN CIENTÍFICA IMPLICADA
1	Configuración electrónica de un material semiconductor y su comportamiento eléctrico a temperatura ambiente.
2	Identificación del diagrama de bandas de energía de un material semiconductor.
3	Variación de la resistividad de un semiconductor con la temperatura.
4	Conducción eléctrica en un semiconductor a altas temperaturas.
5	Portadores de carga en un semiconductor intrínseco.
6	Carácter eléctrico de un hueco en un semiconductor.
7	Proceso de generación en un semiconductor.
8	Obtención de un semiconductor extrínseco mediante dopado.
9	Portadores de carga en un semiconductor extrínseco.
10	Estabilidad eléctrica de un semiconductor dopado (extrínseco).

Con el fin de hacer una valoración del grado de confianza o seguridad en las respuestas de los encuestados, se incluyó en cada ítem un registro para que indicasen su seguridad (entre 1 y 5).

IV. METODOLOGÍA

Se aplicó el cuestionario a un total de 102 titulados universitarios (36 mujeres y 66 hombres), que participaban en un curso de formación del profesorado de Secundaria, para la obtención del CAP en la Especialidad de Física y Química. Dicho curso se enmarca en el plan de formación inicial de futuros profesores de Secundaria, organizado por el Instituto de Ciencias de la Educación de la Universidad de Sevilla.

La muestra estaba formada por 41 Licenciados/as en Ciencias Físicas (40,2%), 52 Licenciados/as en Ciencias Químicas (51,2%) y 9 de otras titulaciones (8,8%). Dentro de estas últimas se encontraban 3 Licenciados/as en Farmacia y 6 Ingenieros Técnicos y Superiores. En cuanto a las edades de los encuestados, el 38% tenía entre 23 y 25 años, el 53% entre 26 y 30 años y el 11% más de 30 años.

En el estudio se combinan las metodologías cualitativa y cuantitativa. Se realiza un estudio cuantitativo con el fin de comparar los resultados de las diferentes titulaciones de la muestra estudiada (diferenciada en tres grupos: Físicos, Químicos y otros titulados) y el nivel de confianza demostrado en cada una de las respuestas. Y el estudio cualitativo se centra en describir, analizar y, finalmente, categorizar las diferentes concepciones manifestadas por los futuros profesores. Todo ello nos permitió hacer algunas reflexiones acerca de la idoneidad de la formación científica de los actuales titulados universitarios, con vistas a enseñar *física básica de semiconductores* en el nivel de ESO.

Para el tratamiento de los datos se empleó el paquete informático SPSS. Se realizó un estudio descriptivo de frecuencias con los porcentajes de cada categoría de

respuesta (*variable dependiente*), diferenciando los resultados de cada uno de los tres grupos (*variable independiente*).

Antes de someter los datos a pruebas de contrastes, realizamos un estudio de normalización mediante el estadístico Kolmogorov-Smirnov. Para un nivel de confianza del 5% ($\alpha=0,05$), obtuvimos que los datos de las variables no estaban normalizados, de modo que no existían garantías de poder aplicar pruebas de tipo paramétrico [15]. En consecuencia, a fin de comprobar si existían diferencias significativas en los resultados de los tres grupos de titulados, empleamos la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis.

V. DESCRIPCIÓN Y ANÁLISIS DE LOS DATOS

A. Concepciones del profesorado

Con objeto de describir los resultados en cada ítem, elaboramos una serie de tablas donde se indican las frecuencias (en tantos por ciento) de las distintas respuestas, de un modo diferenciado para cada grupo de titulados.

TABLA II. Resultados del ítem 1.

CONCEPCIONES DEL PROFESORADO	GRUPOS (%)		
	L. Físicas	L. Químicas	Otros
A temperatura ambiente, un semiconductor conduce mejor la electricidad que un metal.	4,9	9,6	0,0
A temperatura ambiente, un semiconductor es mejor aislante de la electricidad que un no-metal.	0,0	9,6	0,0
A temperatura ambiente, un semiconductor tiene un comportamiento intermedio a los conductores y aislantes.*	78,0	69,2	77,8
A temperatura ambiente, un semiconductor es peor conductor que un no-metal y peor aislante que un metal.	0,0	3,8	0,0
No contesta.	17,1	7,7	22,2
Total	100,0	100,0	100,0
* Concepción correcta			

Los resultados del *primer ítem* se recogen en la tabla II. Éste tiene como finalidad identificar la «configuración electrónica de los átomos de un semiconductor» y reconocer que, «a temperatura ambiente, un semiconductor tiene un comportamiento eléctrico intermedio al de un conductor y un aislante». Observamos que la concepción correcta es la más elegida en los tres grupos, superando casi el 70% de acertantes en todos los casos. No obstante, en torno al 10% de los Licenciados en Químicas (en adelante, LQ) piensa que los semiconductores, a temperatura ambiente, son mejores conductores de la electricidad que los metales. Un porcentaje similar, de este mismo grupo, cree que los semiconductores son mejores aislantes que los no metales a esta temperatura.

Los porcentajes referidos a otras concepciones alternativas son poco significativos. También debemos destacar que cerca de la cuarta parte de “otros titulados” (en adelante, OT), y casi la quinta parte de los Licenciados en Físicas (en adelante, LF), no contestan.

TABLA III. Resultados del ítem 2.

CONCEPCIONES DEL PROFESORADO	GRUPOS (%)		
	L. Físicas	L. Químicas	Otros
En un diagrama de bandas de energía de un material semiconductor, la banda prohibida es alrededor de 10 eV.	17,1	0,0	0,0
En un diagrama de bandas de energía de un material semiconductor, la banda prohibida es aproximadamente de 1 eV.*	82,9	96,2	66,7
En un diagrama de bandas de energía de un semiconductor, las bandas de conducción y de valencia se solapan.	0,0	3,8	11,1
No contesta.	0,0	0,0	22,2
Total	100,0	100,0	100,0
* Concepción correcta			

El *segundo ítem* tiene como propósito identificar el «diagrama de bandas de energía de un semiconductor a temperatura ambiente». Los resultados se muestran en la tabla III. La concepción correcta («banda prohibida de, aproximadamente, 1 eV») es elegida por la inmensa mayoría de LQ y LF. Es en OT donde se manifiesta un porcentaje de acierto más bajo, con las dos terceras partes de sus encuestados. Alrededor de la quinta parte de este grupo deja su respuesta en blanco. Entre las concepciones erróneas destacamos que algo más del 10% de OT confunde el diagrama de bandas de un semiconductor con el de un material metálico (conductor); mientras que la quinta parte de LF lo identifica con el de un material aislante.

La «variación de la resistividad con la temperatura, en un semiconductor intrínseco», es analizada en el *tercer ítem*, cuyos resultados se ofrecen en la tabla IV. La concepción correcta —«decrecimiento exponencial de la resistividad con la temperatura»— es declarada por algo más de la mitad de los encuestados en los tres grupos. Entre las ideas alternativas más significativas, destacamos la creencia de que la resistividad de un semiconductor aumenta a medida que lo hace la temperatura. Así, casi un 25% de LF, y en torno a la quinta parte de LQ y OT, piensan que lo hace exponencialmente. En este orden de ideas, es de destacar que cerca de la cuarta parte de LQ, piensa que la resistividad crece linealmente con la temperatura, hasta alcanzar cierto valor en el que se mantiene constante. Esta misma concepción se manifiesta, en menor proporción, en LF y OT. Se abstiene en sus respuestas algo más del 10% de OT.

El «comportamiento eléctrico de los semiconductores, a altas temperaturas», es analizado a través del *cuarto ítem*, cuyos resultados se recogen en la tabla V. A la hora de escoger la opción correcta, se observan discrepancias

importantes entre los tres grupos. Sólo en LQ, el número de acertantes supera el 50%; en LF, la idea correcta sólo es contestada por algo más del 40%. Como resultado significativo, subrayamos que sólo el 11% de OT escoge la opción correcta, y sobre un 22% no contesta.

TABLA IV. Resultados del ítem 3.

CONCEPCIONES DEL PROFESORADO	GRUPOS (%)		
	L. Físicas	L. Químicas	Otros
La resistividad de un semiconductor decrece exponencialmente con el aumento de su temperatura.*	58,5	51,9	55,6
La resistividad de un semiconductor aumenta exponencialmente con el aumento de su temperatura.	24,4	19,2	22,2
La resistividad de un semiconductor se mantiene constante durante cierto intervalo de temperaturas, y a partir de cierto valor umbral crece indefinidamente.	2,4	3,8	0,0
La resistividad de un semiconductor aumenta linealmente con la temperatura, hasta alcanzar cierto valor a partir del cual se mantiene constante.	14,6	23,1	11,1
No contesta.	0,0	1,9	11,1
Total	100,0	100,0	100,0
* Concepción correcta			

TABLA V. Resultados del ítem 4.

CONCEPCIONES DEL PROFESORADO	GRUPOS (%)		
	L. Físicas	L. Químicas	Otros
A altas temperaturas, los semiconductores son aislantes de la electricidad.	7,3	9,6	11,1
A altas temperaturas, los semiconductores son buenos conductores de la electricidad.*	41,5	63,5	11,1
A altas temperaturas, los semiconductores son peores conductores de la electricidad que los metales.	39,0	19,2	33,3
A altas temperaturas, los semiconductores no tienen ninguna utilidad.	12,2	3,8	22,2
No contesta.	0,0	3,8	22,2
Total	100,0	100,0	100,0
* Concepción correcta			

Entre las concepciones erróneas, destacamos que cerca del 40% de LF, la tercera parte de OT y la quinta parte de LQ, consideran que un material semiconductor, a altas temperaturas, conduce peor la electricidad que un metal. Asimismo, alrededor del 22% de OT y el 12% de LF piensan que un semiconductor no tiene ninguna utilidad a altas temperaturas; lo que pone de relieve que parecen no conocer algunas aplicaciones notorias de estos materiales como su

uso en la fabricación de *células fotovoltaicas*. En menor proporción —por debajo del 12% en los tres grupos—, se considera que un material semiconductor es aislante de la electricidad a altas temperaturas.

Los resultados del *quinto ítem* se muestran en la tabla VI. El ítem tiene como objeto conocer las ideas sobre «el balance de portadores de cargas en un semiconductor intrínseco». El mayor porcentaje de acierto corresponde a LF, con cerca de un 90%; en LQ y OT, sólo supera, ligeramente, el 50%. Es de destacar que algo más de la quinta parte de OT se abstiene en sus respuestas.

TABLA VI. Resultados del ítem 5.

CONCEPCIONES DEL PROFESORADO	GRUPOS (%)		
	L. Físicas	L. Químicas	Otros
En un semiconductor intrínseco hay más electrones libres que huecos.	0,0	17,3	11,1
En un semiconductor intrínseco hay el mismo número de electrones libres que huecos.*	87,8	51,9	55,6
En un semiconductor intrínseco hay más huecos que electrones libres.	9,8	28,8	11,1
En un semiconductor intrínseco hay más huecos que protones.	2,4	0,0	0,0
No contesta.	0,0	1,9	22,2
Total	100,0	100,0	100,0
* Concepción correcta			

El mayor porcentaje de concepciones alternativas se observa en LQ. Así, cerca de la quinta parte opina que en un semiconductor intrínseco hay más electrones libres que huecos; y casi un 30% piensa que hay más huecos que electrones. OT está representado en ambas concepciones erróneas por algo más de un 10%; mientras que no llega al 10% de LF, que piensa que predominan los huecos.

Las ideas sobre las «propiedades eléctricas de los huecos» son analizadas a través del *sexto ítem*. Los resultados se exponen en la tabla VII. Se observan grandes diferencias en las concepciones de las diferentes titulaciones. Así, mientras la idea correcta es manifestada por algo más del 80% de LF, en LQ es acertada por menos de la mitad, y en OT sólo es indicada por la cuarta parte. Sólo se abstienen en OT, con algo más de un 20%.

La idea errónea más extendida es la de considerar que los huecos no poseen carga eléctrica; la cual es manifestada por casi el 70% de LQ, más del 30% de OT y cerca del 20% de LF. De acuerdo con el “sentido común”, resulta comprensible esta concepción, habida cuenta de que un hueco no es más que una vacante dejada por un electrón liberado de la estructura cristalina del semiconductor. Es decir, se cuestiona que un hueco sea al mismo tiempo una carga y un “vacío”. Si bien, con base en el modelo del enlace covalente [2], la carga positiva de un hueco se justifica por el hecho de que su comportamiento, en un semiconductor, es justo el contrario al de los electrones libres: ‘como si’ fuesen

portadores de carga positiva. Por tanto, el dilema conceptual surge como consecuencia de las inevitables limitaciones de los modelos científicos que utilizamos [16].

TABLA VII. Resultados del ítem 6.

CONCEPCIONES DEL PROFESORADO	GRUPOS (%)		
	L. Físicas	L. Químicas	Otros
Los huecos no poseen carga eléctrica.	17,1	69,2	33,3
Los huecos son equivalentes a los protones.	0,0	5,8	0,0
Los huecos tienen carga negativa.	0,0	0,0	0,0
Los huecos tienen la misma carga que los electrones pero de signo positivo.*	82,9	25,0	44,4
No contesta.	0,0	0,0	22,2
Total	100,0	100,0	100,0
* Concepción correcta			

El *séptimo ítem* tiene por finalidad conocer las concepciones en torno al «concepto de generación» en física de semiconductores. En la tabla VIII se recogen los resultados. La concepción correcta («aparición de pares electrón-hueco») es la más elegida en los tres grupos, aunque el mayor porcentaje de acierto lo presenta LF, con más del 85%. El hecho de que la generación sea un proceso paritario obedece a que la creación de un hueco viene unívocamente determinada por la liberación de un electrón [16].

TABLA VIII. Resultados del ítem 7.

CONCEPCIONES DEL PROFESORADO	GRUPOS (%)		
	L. Físicas	L. Químicas	Otros
El proceso de generación en un material semiconductor consiste en la aparición de un par electrón-hueco.*	85,4	63,5	66,7
El proceso de generación en un material semiconductor consiste en la aparición de un hueco y desaparición de un electrón libre.	2,4	28,8	11,1
El proceso de generación en un material semiconductor consiste en la aparición de más electrones libres que de huecos.	9,8	3,8	0,0
El proceso de generación en un material semiconductor consiste en la desaparición de un hueco y aparición de un electrón libre.	0,0	1,9	0,0
No contesta.	2,4	1,9	22,2
Total	100,0	100,0	100,0
* Concepción correcta			

Entre las ideas erróneas, observamos que cerca del 30% de LQ, y algo más del 10% de OT, piensan que en el proceso de generación aparece un hueco y desaparece un electrón libre. Asimismo, cerca del 10% de LF cree que en este proceso se liberan más electrones que huecos. Algo más de un 20% de OT no contesta.

Las concepciones referentes a la «obtención de un semiconductor extrínseco tipo *p*, mediante dopado con impurezas aceptoras (átomos trivalentes)», es estudiado en el *octavo ítem*. Los resultados se presentan en la tabla IX. Se observan altos porcentajes de concepciones erróneas en los tres grupos. El porcentaje de acierto más alto corresponde a LF, con un 43%, seguido de un 27% de LQ; en OT no se registra la concepción correcta. Más de un 20% de OT, y casi el 10% de LQ, dejan sus respuestas en blanco.

TABLA IX. Resultados del ítem 8.

CONCEPCIONES DEL PROFESORADO	GRUPOS (%)		
	L. Físicas	L. Químicas	Otros
Para lograr mayor número de huecos que de electrones en un semiconductor (semiconductor extrínseco tipo <i>p</i>) es necesario doparlo con impurezas donadoras.	34,1	42,3	33,3
Para lograr mayor número de huecos que de electrones en un semiconductor (semiconductor extrínseco tipo <i>p</i>) es necesario doparlo con átomos pentavalentes.	17,1	11,5	22,2
Para lograr mayor número de huecos que de electrones en un semiconductor (semiconductor extrínseco tipo <i>p</i>) es necesario doparlo con átomos bivalentes.	2,4	9,6	22,2
Para lograr mayor número de huecos que de electrones en un semiconductor (semiconductor extrínseco tipo <i>p</i>) es necesario doparlo con átomos trivalentes.*	43,9	26,9	0,0
No contesta.	2,4	9,6	22,2
Total	100,0	100,0	100,0
* Concepción correcta			

La concepción errónea, manifestada con mayor frecuencia (entre el 33 y el 43% en los tres grupos), es la de considerar que la obtención de un semiconductor extrínseco tipo *p*, se consigue mediante el dopado con impurezas donadoras. Asimismo, en torno al 20% de LF y OT, y algo más del 10% en LQ, piensan que es necesario doparlo con átomos pentavalentes (impurezas donadoras). El hecho de que se aprecien porcentajes en las opciones a) y b) del ítem —que dicen exactamente lo mismo—, viene a significar que hay un porcentaje significativo de futuros profesores, que no conoce el papel de las impurezas en un material semiconductor; y, menos aún, identifica una impureza donadora con un átomo pentavalente. A esto se añade que algo más de un 20% de LQ, y cerca un 10% de OT, cree que un semiconductor tipo *p* se obtiene mediante átomos bivalentes; una maniobra que no es factible debido a que la diferencia de tamaño de estos átomos, con los de un semiconductor puro (átomos tetravalentes), supondría la ruptura de la estructura cristalina del material.

El *noveno ítem* estudia las concepciones sobre el «balance de portadores de carga en un semiconductor extrínseco tipo *n*», cuyos resultados se muestran en la tabla 10. Es en LF donde se observa un mayor porcentaje de

acierto (sobre un 85%); en LQ y OT no llega al 50%. Es conveniente señalar, también, que más de un 20% de OT, y sobre un 13% de LQ, no contestan.

La concepción alternativa, que indica que los huecos son los portadores mayoritarios en un semiconductor tipo *n*, es manifestada en los tres grupos, con más de la cuarta parte de LQ y sobre un 22% de OT. Esta misma idea, aunque formulada de una manera complementaria (electrones libres como portadores minoritarios), también es manifestada por una pequeña porción de los tres grupos. Estos resultados ponen en evidencia que los futuros profesores no identifican a un semiconductor “tipo *n*” (de negativo), con aquel en el que predominan los portadores de carga negativos (electrones libres).

TABLA X. Resultados del ítem 9.

CONCEPCIONES DEL PROFESORADO	GRUPOS (%)		
	L. Físicas	L. Químicas	Otros
En un semiconductor tipo <i>n</i> los huecos son los portadores mayoritarios.	9,8	26,9	22,2
En un semiconductor tipo <i>n</i> los electrones libres son los portadores mayoritarios.*	85,4	46,2	44,4
En un semiconductor tipo <i>n</i> no existen portadores mayoritarios ni minoritarios.	2,4	5,8	0,0
En un semiconductor tipo <i>n</i> los electrones libres son los portadores minoritarios.	2,4	7,7	11,1
No contesta.	0,0	13,5	22,2
Total	100,0	100,0	100,0
* Concepción correcta			

Las ideas sobre el «estado eléctrico de un semiconductor extrínseco», son estudiadas en el *décimo ítem*, cuyos resultados se exponen en la tabla XI. La idea correcta es declarada por porcentajes bajos en los tres grupos; por debajo del 40% en el mejor de los casos (grupo LF). Hemos de resaltar que más del 30% de OT se abstiene en su contestación.

La concepción errónea más destacada, entre los futuros profesores (con un 50% en LQ, y alrededor de la cuarta parte en LF y OT), es la de considerar que la introducción de impurezas donadoras (átomos pentavalentes), en un semiconductor, dan lugar a un extrínseco tipo *p* (predominio de portadores de carga positivos: huecos). Esta idea viene a confirmar, en coherencia con los resultados obtenidos en los dos ítems anteriores, que gran parte de los futuros profesores encuestados no conocen los conceptos de impureza y dopado de materiales. Asimismo, en este orden de ideas, destacamos que cerca de la tercera parte de LF, y la cuarta parte de LQ, creen que la introducción de impurezas en un semiconductor puro lo convierte en un material cargado eléctricamente. Esta idea pone de manifiesto que no se identifica a una impureza con un átomo, el cual, por definición, es eléctricamente neutro y, por tanto, no rompe la neutralidad eléctrica de un semiconductor.

TABLA XI. Resultados del ítem 10.

CONCEPCIONES DEL PROFESORADO	GRUPOS (%)		
	L. Físicas	L. Químicas	Otros
Al dopar con impurezas donadoras a un semiconductor, se convierte en un material cargado eléctricamente.	29,3	25,0	11,1
Al dopar con impurezas donadoras a un semiconductor, sigue siendo un material eléctricamente neutro.*	39,0	15,4	33,3
Al dopar con impurezas donadoras a un semiconductor, se convierte en un semiconductor tipo p.	26,8	50,0	22,2
Al dopar con impurezas donadoras a un semiconductor, se convierte en un metal.	2,4	1,9	0,0
No contesta.	2,4	7,7	33,3
Total	100,0	100,0	100,0
* Concepción correcta			

VB Análisis del nivel de confianza del profesorado en sus concepciones

El análisis del nivel de confianza demostrado por los encuestados en sus ideas, ha sido realizado en otras investigaciones [11]. Por ello, establecimos, en cada ítem del cuestionario, un espacio destinado a que el encuestado indicase su seguridad (entre 1 y 5) en la elección de la opción. No obstante, hay que tener presente que el empleo de una escala Likert tiene sus limitaciones, debido a la falta de unidad de criterios en las puntuaciones de los encuestados. Por tanto, en su estudio nos limitamos a un análisis descriptivo.

Con el fin de analizar estos datos, consideramos tres niveles de confianza: *bajo* (por debajo de 3), *medio* (3) y *alto* (por encima de 3). Los valores obtenidos se muestran en la tabla XII, para cada uno de los ítems y grupo de la muestra. Hemos señalado con un asterisco aquellos que tienen un nivel *alto* de confianza (superior a 3).

Observamos que es el grupo LF el que presenta mayor confianza en sus respuestas; un *alto* nivel de confianza en todos los ítems. Ello lo podemos entender si consideramos que en la formación de los Licenciados en Ciencias Físicas se contempla el estudio de la física de semiconductores, dentro de los itinerarios curriculares relacionados con la electrónica y/o la ciencia de materiales.

El alto nivel de confianza de los tres grupos en el ítem 2, referido al «diagrama de bandas de energía de un semiconductor», concuerda con el hecho de que es el ítem en el que se han obtenido los mayores porcentajes de aciertos en los tres grupos. Asimismo, en el ítem 3 («variación de la resistividad de un semiconductor con la temperatura») se observa un nivel alto para LF y LQ, y un nivel medio en OT; si bien, al respecto es preciso señalar que cerca de un 50% de los tres grupos, cree que los semiconductores aumentan su

resistividad (de manera lineal o exponencial) a medida que lo hace la temperatura. Una posible interpretación de esto puede ser que esas ideas erróneas están arraigadas en los futuros profesores. Quizás, porque desde los niveles básicos de enseñanza, sólo se suele estudiar la influencia de la temperatura en el comportamiento de los materiales conductores, cuya resistividad sí aumenta con un incremento de la temperatura.

TABLA XII. Evaluación del valor medio del nivel de confianza en las respuestas.

ÍTEMS	L. Físicas	L. Químicas	Otros
1	3,38*	2,96	2,43
2	4,22*	4,17*	3,71*
3	3,27*	3,08*	3,00
4	3,15*	2,94	2,86
5	3,83*	2,73	2,57
6	4,02*	3,00	2,86
7	3,30*	2,69	2,71
8	3,48*	2,55	1,29
9	3,78*	2,36	1,71
10	3,38*	2,38	2,17

Los titulados en Ciencias Químicas (LQ) presentan niveles bajos de confianza en la mayoría de los ítems; sólo presentan un alto nivel en los ítems 2 y 3. Sin embargo, en su formación se contempla el estudio de Ciencias de los Materiales. Por tanto, podemos atribuir esos niveles a que en dichos contenidos no se presta la atención adecuada a los materiales semiconductores, pese a la importancia tecnológica que estos tienen en los campos de la electrónica y la energía fotovoltaica.

Finalmente, destacamos que los niveles de confianza más bajos se obtienen en el grupo OT; sólo muestran un alto nivel de confianza en el ítem 2. Estimamos que esto obedece, principalmente, a que parte de este grupo lo componen Licenciados en Farmacia, en cuya formación académica no se contempla el estudio de ciencias de materiales ni de electrónica; aunque sí se incluyen en las carreras de ingenierías.

C Contraste de la ideas entre diferentes titulaciones

Una vez descritas las concepciones de los futuros profesores, y el nivel de seguridad demostrado, procedimos a comparar los porcentajes de respuesta de los ítems en cada grupo. Pare ello, aplicamos la prueba estadística de Kruskal-Wallis, con

objeto de hacer un análisis de la varianza por rangos, en cada ítem, con el total de la muestra. Los valores del estadístico χ^2 se muestran en la tabla XIII. Se observa que la variable «titulación universitaria» establece diferencias significativas, para un nivel de confianza del 5% ($p < 0,05$), en los ítems 2, 4 y 6. Esto es, se observan diferencias relevantes en las concepciones de los distintos titulados en relación con el «reconocimiento de bandas de energía de un

semiconductor», el «comportamiento eléctrico de un semiconductor a altas temperaturas» y el «carácter eléctrico de un hueco en un semiconductor». En el resto de ítems, no se obtienen diferencias significativas en las concepciones (correctas o no) de los tres grupos de titulados, si bien, como ya hemos señalado, es en los grupos LQ y OT donde se manifiestan los niveles más bajo de seguridad.

TABLA XIII. Contraste global entre grupos de titulados en los ítems del cuestionario.

	Ítem 1	Ítem 2	Ítem 3	Ítem 4	Ítem 5	Ítem 6	Ítem 7	Ítem 8	Ítem 9	Ítem 10
χ^2 (K-W)	2,32	12,67*	0,92	8,48*	0,32	28,64*	5,38	2,52	1,10	2,91

* diferencia significativa ($p < 0,05$)

VI. CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS

En este artículo, hemos expuesto diversas consideraciones que justifican la necesidad de integrar nociones básicas de física de semiconductores en el curriculum de Física y Química de la ESO, como apoyo esencial para el aprendizaje de electrónica básica en el área de Tecnología. Hemos insistido en que ello es viable en la medida en que el profesorado posea una adecuada formación didáctica y, sobre todo, científica del tema. Por este motivo, hemos realizado un estudio pionero —no conocemos investigaciones precedentes—, orientado a conocer las ideas de los futuros profesores, de Física y Química, sobre *física básica de semiconductores*.

A modo de síntesis detallamos, a continuación, las principales conclusiones del estudio:

- La mayoría de los futuros profesores de Física y Química, con independencia de sus titulaciones, no tiene problemas en reconocer la configuración electrónica de los elementos de un material semiconductor; y entiende que su comportamiento eléctrico, a temperatura ambiente, es intermedio al de un conductor y un aislante. Asimismo, identifican, adecuadamente, el diagrama de bandas de energía de un semiconductor; no obstante, un número apreciable de Licenciados en Físicas lo confunde con el de un material aislante. Quizás, esta idea tenga su origen en el hecho de que a temperatura ambiente, el comportamiento de un semiconductor está más próximo al de un aislante que al de un conductor.

- Un número considerable de los futuros profesores encuestados, con distintas titulaciones, cree, equivocadamente, que la resistividad de un material semiconductor aumenta (de manera lineal o exponencial) a medida que lo hace su temperatura. En este orden de ideas, gran parte de los Licenciados en Físicas y en Químicas —y en menor proporción, de otras titulaciones—, piensa, en analogía con lo que les ocurre a los metales, que los materiales semiconductores conducen mal la electricidad a altas temperaturas. Una creencia, tal vez, ocasionada porque desde los niveles básicos de enseñanza sólo se suele estudiar la influencia de la temperatura en el comportamiento de los materiales conductores. De igual forma, un número estimable de “otros titulados” cree que, en esas condiciones,

los semiconductores no tienen ninguna utilidad; lo cual vislumbra que no conocen las aplicaciones de los materiales semiconductores en la fabricación de paneles solares fotovoltaicos.

- Una confusión observada, sobre todo entre los Licenciados en Químicas y en “otros titulados”, es la de considerar que en un semiconductor intrínseco hay diferente número de electrones libres y de huecos. Esta creencia concuerda con la manifestada por un porcentaje considerable de estos mismos titulados, que piensa que en el *proceso de generación* aparecen huecos y desaparecen electrones libres. En consecuencia, se pone de manifiesto que estos futuros profesores, por un lado, no asocian el concepto de semiconductor intrínseco con material puro, y, por otro, no conciben el proceso de generación como un proceso de liberación paritaria de electrones y huecos.

- Otra idea errónea extendida entre los futuros profesores, y manifestada con gran frecuencia entre los Licenciados en Químicas, consiste en pensar que un *hueco* no tiene carga eléctrica. Sólo los Licenciados en Físicas, de forma mayoritaria, entienden que la asignación de un carga positiva a los huecos es consecuencia del modelo del enlace covalente [16], empleado en el estudio del comportamiento eléctrico de los semiconductores. Obviamente, el dilema conceptual de considerar a un hueco como carga y ‘ausencia’ a la vez, deriva de las inevitables limitaciones de los modelos que utilizamos para la comprensión de las Ciencias [17].

- Un porcentaje importante de los futuros profesores, con distintas titulaciones, no comprende el proceso de dopado de un semiconductor mediante impurezas. Se observa que no saben qué son esas impurezas (donadoras o aceptoras), ni conocen su papel en un semiconductor. De modo que presentan ideas equivocadas en relación con la obtención de semiconductores extrínsecos (tipo *p* o tipo *n*) mediante la introducción de impurezas; así, por ejemplo, no asocian un semiconductor tipo *n* con aquel en el que predominan los portadores de carga negativos (electrones). Igualmente, una parte considerable de los Licenciados en Físicas y en Químicas, cree que la introducción de impurezas en un semiconductor rompe su neutralidad eléctrica. Esta concepción confirma que estos futuros profesores no asocian una impureza con un átomo; el cual es eléctricamente neutro,

por definición, y, por consiguiente, su inserción no altera el estado eléctrico del semiconductor dopado.

– Se constata, también, que son los Licenciados en Físicas quienes presentan los niveles de confianza más altos en sus respuestas; quizás —pues también registran concepciones erróneas—, porque han recibido mayor instrucción sobre física de semiconductores², con respecto a los demás titulados. Asimismo, obtenemos que el grupo formado por “otros titulados” presenta porcentajes importantes de abstención en la mayoría de los ítems; un aspecto que, tal vez, esté motivado porque parte del grupo lo componen Licenciados en Farmacia (33% del grupo), que no reciben formación en ciencias de los materiales. A esto hay que sumar el hecho de que el número total de encuestados de este grupo es considerablemente pequeño en comparación con los otros dos grupos; con lo cual, cabe la posibilidad de que ello sea consecuencia de errores derivados del tamaño muestral [15].

– Destacamos que, en la mayoría de los tópicos de física de semiconductores estudiados, no se aprecian diferencias relevantes en las concepciones (correctas o no) de los diferentes grupos de titulados, que se preparan para ser profesores de Física y Química. Sólo se aprecian diferencias significativas (desde un punto de vista estadístico) en relación con el «reconocimiento de bandas de energía de un semiconductor», el «comportamiento eléctrico de un semiconductor a altas temperaturas» y el «carácter eléctrico de un hueco en un semiconductor».

A. Implicaciones para la enseñanza

A la vista de los resultados obtenidos, constatamos que los futuros profesores de Física y Química encuestados no están suficientemente preparados para abordar la enseñanza de la física básica de semiconductores en la ESO. Sin embargo, esta temática se integra dentro de los contenidos de electrónica y ciencias de materiales, que ocupan un lugar destacado en las programaciones curriculares de la mayoría de las titulaciones que acceden a la especialidad de Física y Química. Por tanto, tal como se ha puesto de manifiesto en otras investigaciones [11], confirmamos la existencia de importantes carencias en la formación académica de los titulados, teniendo en cuenta las exigencias formativas que demanda el profesorado de Física y Química de Secundaria. Se trata, pues, de un aspecto que exige una profunda reflexión [18].

El estudio de los materiales semiconductores se contempla como un contenido básico para la prueba de acceso al Cuerpo de Profesorado de Física y Química; además, sostenemos que es necesario en aras de reforzar el aprendizaje de la electrónica básica en la ESO. Por consiguiente, insistimos en la necesidad de emprender proyectos encaminados a elaborar programas de formación (tanto de postgrados como integrados en los currículos formativos de los titulados que acceden a la especialidad), que aporten a los futuros profesores la formación científica y

didáctica adecuada para emprender la enseñanza de la física básica de semiconductores en el nivel de ESO.

REFERENCIAS

- [1] Rosado, L., *Microelectrónica para Profesores de Ciencias y Tecnología* (UNED, Madrid, 1995).
- [2] García-Carmona, A., *Física de semiconductores en la educación científica secundaria* (Educación Editora, Ourense, 2008).
- [3] García-Carmona, A., *Comprensión del concepto de hueco en Física de Semiconductores: resultados de un estudio con estudiantes de 14-15 años*, *Revista Iberoamericana de Física* **3**, 65-72 (2007).
- [4] García-Carmona, A., *Construcción de significados de física de semiconductores en educación secundaria: fundamentos y resultados de una investigación*, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **28**, 507-519 (2006).
- [5] Rosado, L. & García-Carmona, A., *Programa-guía sobre Física de Semiconductores en la Electrónica de la Educación Secundaria Obligatoria*, editado por Rosado, L. y Cols., *Didáctica de la Física y sus Nuevas Tendencias*, 775-846 (UNED, Madrid, 2002).
- [6] Rosado, L. & García-Carmona, A., *Una propuesta de enseñanza/aprendizaje sobre la conducción eléctrica en semiconductores intrínsecos para la Educación Secundaria*, editado por Rosado, L. y Cols., *Didáctica de la Física y sus Nuevas Tendencias*, 425-456 (UNED, Madrid, 2003).
- [7] García-Carmona, A. & Criado, A. M., *Introduction to semiconductor physics in secondary education: evaluation of a teaching sequence*, *International Journal of Science Education* **31**, 2205-2245 (2009).
- [8] García-Carmona, A. & Criado, A. M., *Física de semiconductores en la enseñanza básica de la electrónica: primeros pasos de un proceso de transposición didáctica*, *Enseñanza de las Ciencias* (en prensa).
- [9] Gil, D. Carrascosa, J., Furió, C. y Martínez-Torregrosa, J., *La Enseñanza de las Ciencias en Educación Secundaria* (ICE Universidad de Barcelona / Horsori, Barcelona, 1991).
- [10] Martín del Pozo, R. & Porlán, R., *Tendencias en la formación inicial del profesorado sobre los contenidos escolares*, *Revista Interuniversitaria de Formación del Profesorado* **35**, 115-128 (1999).
- [11] Pontes, A. & De Pro, A., *Concepciones y razonamientos de expertos y aprendices sobre Electrocinética: consecuencias para la enseñanza y la formación de profesores*, *Enseñanza de las Ciencias* **19**, 103-121 (2001).
- [12] Furió, C. & Guisasola, J., *Dificultades de aprendizaje de los conceptos de carga y campo eléctrico en estudiantes de Bachillerato y Universidad*, *Enseñanza de las Ciencias* **16**, 131-146 (1998).
- [13] Meneses, J. A., *El aprendizaje del electromagnetismo en la Universidad. Ensayo de una metodología constructivista* (Universidad de Burgos, Burgos, 1999).
- [14] Criado, A. M., & Cañal, P., *Investigación de algunos indicadores del estatus cognitivo de las concepciones sobre el estado eléctrico*, *Enseñanza de las Ciencias*, **núm. extra**, 29-41 (2003).

² No obstante, conviene decir que en España, al menos hasta ahora, la física de semiconductores sólo suele ser tratada en aquellos itinerarios académicos, de formación de físicos, relacionados con la electrónica.

[15] García Ferrando, M., *Socioestadística: introducción a la estadística en sociología* (13ª ed.) (Alianza Editorial, Madrid, 2003).

[16] Pierret, R. F., *Fundamentos de semiconductores* (2ª ed.) (Addison-Wesley, Lebanon, 1994).

[17] Concari, S. B., *Las teorías y modelos en la explicación científica: implicaciones para la enseñanza de las Ciencias*, *Ciência & Educação* **7**, 85-94 (2001).

[18] Furió, C., *Tendencias actuales en la formación del profesorado de Ciencias*, *Enseñanza de las Ciencias* **12**, 188-199 (1994).

**ANEXO:
CUESTIONARIO SOBRE NOCIONES BÁSICAS
DE FÍSICA DE SEMICONDUCTORES**

DATOS DEL ENCUESTADO

Edad: _____

Sexo: _____

Titulación: _____

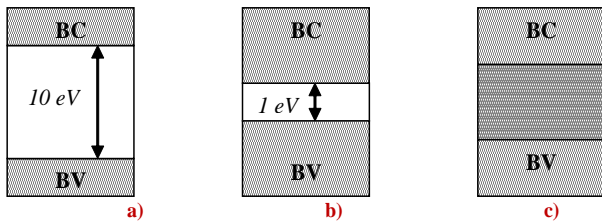
Especialidad: _____

1. La configuración electrónica de cierto elemento 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.

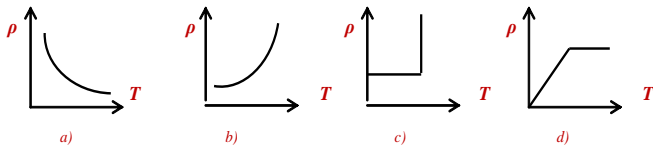
Nivel de confianza en la respuesta: 1 2 3 4 5

2. Indica cuál de los siguientes diagramas de bandas de energía corresponde a un material semiconductor:



Nivel de confianza en la respuesta: 1 2 3 4 5

3. Señala cuál de las siguientes gráficas cualitativas representa la variación de la resistividad ρ de los semiconductores con la temperatura.



Nivel de confianza en la respuesta: 1 2 3 4 5

4. A altas temperaturas, los materiales semiconductores intrínsecos son:

- a) buenos aislantes de la electricidad.
- b) buenos conductores de la electricidad.
- c) peores conductores que los metales.

d) No tienen ninguna utilidad.

Nivel de confianza en la respuesta: 1 2 3 4 5

5. 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 libres.
- d) tiene más huecos que protones.

Nivel de confianza en la respuesta: 1 2 3 4 5

6. Los huecos (elige la opción correcta):

- a) no poseen carga eléctrica.
- b) equivalen a los protones.
- c) tienen carga negativa.
- d) poseen la misma carga que los electrones pero con signo positivo.

Nivel de confianza en la respuesta: 1 2 3 4 5

7. El proceso de generación en un semiconductor consiste en la:

- a) aparición de un par electrón-hueco.
- b) aparición de un hueco y desaparición de un electrón libre.
- a) aparición de más electrones libres que huecos.
- b) desaparición de un hueco y aparición de un electrón libre

Nivel de confianza en la respuesta: 1 2 3 4 5

8. Para lograr mayor número de huecos que de electrones libres en un semiconductor:

- a) hay que doparlo con impurezas donadoras.
- b) hay que doparlo con átomos pentavalentes.
- c) hay que doparlo con átomos bivalentes.
- d) hay que doparlo con átomos trivalentes.

Nivel de confianza en la respuesta: 1 2 3 4 5

9. En un semiconductor extrínseco tipo n:

- a) los huecos son los portadores mayoritarios.
- b) los electrones libres son los portadores mayoritarios.
- c) no existen portadores mayoritarios ni minoritarios.
- d) los electrones libres son los portadores minoritarios.

Nivel de confianza en la respuesta: 1 2 3 4 5

10. Si a un semiconductor puro (intrínseco) le introducimos dos impurezas donadoras:

- a) se convierte en un material cargado eléctricamente.
- b) sigue siendo un material eléctricamente neutro.
- c) se convierte en un semiconductor extrínseco tipo p.
- d) se convierte en un material metálico.

Nivel de confianza en la respuesta: 1 2 3 4 5