

APROXIMACIÓN DIDÁCTICA A LA INTRODUCCIÓN DE LA ELECTRÓNICA BÁSICA EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE DE LA FÍSICA

LA ELECTRÓNICA BÁSICA EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE DE LA FÍSICA

AUTOR: José Arturo Peña Pérez¹DIRECCIÓN PARA CORRESPONDENCIA: jpenaperez@udg.co.cu

Fecha de recepción: 15 2 2020

Fecha de aceptación: 23 3 2020

RESUMEN

Al valorar algunas reflexiones realizadas en investigaciones sociales, acerca de la importancia social del desarrollo de habilidades investigativas en el proceso de enseñanza – aprendizaje de la Física en preuniversitario, y bajo la hipótesis general de que es posible integrar nociones de electrónica en clases de física, se realiza una aproximación didáctica a la introducción de los fundamentos de la electrónica moderna en la enseñanza media. Se parte del análisis de varias fuentes teóricas de investigación y se considera un conjunto específico de hipótesis que implican la necesidad de conocer las ideas y obstáculos de aprendizaje más frecuentes. De esta forma, se pretende favorecer la vinculación de estudiantes y profesores con el estudio de la física de semiconductores; cuyas aplicaciones son indispensables para el progreso científico y tecnológico.

PALABRAS CLAVE

Habilidades; Didáctica; Física; Electrónica.

A DIDACTIC APPROACH TO THE INTRODUCTION OF THE BASIC ELECTRONICS IN THE TEACHING-LEARNING PROCESS OF THE PHYSICS

ABSTRACT

When valuing some critical analyses of investigations about the social importance of the development of investigative abilities in the teaching-learning process of the physics, and under the general hypothesis that it's possible to integrate notions of the electronics in physics classes, a didactic approach to the introduction of basic elements of the modern electronics is carried out. The analysis begin from several theoretical sources of investigation and is considered a specific group of hypothesis that imply the necessity to know the ideas and more frequent learning obstacles. It's sought to favor the linking of

¹Ingeniero en Electrónica. Profesor Instructor. Departamento de Matemática y Física. Facultad de Educación Media. Campus “Blas Roca Calderío”.Universidad de Granma. Cuba.

students and professors with the physics of semiconductors; whose applications are indispensable for the scientific and technological progress.

KEYWORDS

Abilities; Didactic; Physics; Electronics.

INTRODUCCIÓN

En Cuba, como parte de un perfeccionamiento continuo, se trabaja con el propósito de elevar la calidad del proceso educativo para lograr que en los modos de actuación de los ciudadanos se pongan de manifiesto: la calidad de los conocimientos, el desarrollo de capacidades, habilidades y hábitos; y la formación de convicciones revolucionarias. El alcance de estos objetivos se favorece con la utilización de métodos propios del enfoque investigativo del proceso de enseñanza-aprendizaje; que propicien el actuar independiente y, por consiguiente, el desarrollo de las habilidades investigativas de los estudiantes. Sin embargo, según investigaciones sociales consultadas, existen ineficiencias en la estructuración del proceso de enseñanza-aprendizaje de física en preuniversitario; al no tener como base la actividad científico investigativa.

Por otro lado, en indicaciones metodológicas de las asignaturas de ciencia, se identifican como aspiraciones: lograr en los estudiantes el desarrollo de estrategias de aprendizaje autónomas, la creación de rasgos de la actividad científica contemporánea y una actuación creativa en la resolución de problemas. Se manifiesta así una contradicción entre los resultados de la práctica educativa y las aspiraciones en la formación de los estudiantes, implicando como problema social: ¿Cómo contribuir a resolver la necesidad social del desarrollo de las habilidades investigativas en el proceso de enseñanza-aprendizaje de la Física en preuniversitario?

Para contribuir a resolver la necesidad social planteada, es factible considerar los entornos relacionados con la Física y la actividad científica contemporánea, resaltando la Electrónica; cuyos fundamentos constituyen un marco propicio para el desarrollo de habilidades investigativas. Por lo general, los contenidos de dispositivos y sistemas electrónicos suelen ser abordados desde una perspectiva funcional; basada en un análisis modular. De modo que, generalmente, no se llega a abordar la física de los semiconductores; principales materiales empleados en la fabricación de componentes electrónicos, indispensables para el auge de las telecomunicaciones, la televisión, las computadoras, etcétera.

También, se ha podido constatar que en estudios orientados a valorar la viabilidad (logros, obstáculos de aprendizaje, etc.) de integrar la electrónica en clases de física, en preuniversitario, se presenta como dificultad, en primer lugar, la carencia de material didáctico para ese nivel, a excepción de lo dispuesto en instituciones educativas especializadas, como los Institutos Preuniversitarios de Ciencias Exactas. Básicamente, esto constituye el punto de partida de una propuesta de enseñanza más fundamentada, de primera

introducción al tema, acorde al nivel educacional. En correspondencia con lo anterior, se infiere la necesidad de una formación pedagógica adecuada a este propósito en cursos de pre-grado, al considerar la relación profesor-alumno como una de las unidades estructurales más importantes de la enseñanza.

Por tanto, existen razones didácticas y epistemológicas que sugieren la posibilidad de la integración de nociones de física de semiconductores, con la asignatura de física en nivel preuniversitario, como introducción a la electrónica. Sin contradecir a las normativas establecidas, lo ideal es que tal propósito surja de la inquietud profesional de cada profesor, considerando, además, las posibilidades de su contexto docente. Con esa hipótesis general, y como aproximación didáctica, se plantea emprender una introducción al tema, en el marco de unas hipótesis didácticas específicas, establecidas como punto de partida para el diseño y desarrollo de una propuesta de enseñanza.

DESARROLLO

Referentes teóricos.

Desde el punto de vista filosófico el materialismo dialéctico e histórico, con su sistema de leyes, principios y categorías que regulan los rasgos esenciales de todo fenómeno en desarrollo, expresando su carácter dialéctico y en forma de espiral, abarca todos los aspectos de la realidad y se fundamenta en las leyes de la naturaleza, la sociedad y el pensamiento. Por eso, son exigencias metodológicas de todo investigador. En consecuencia, la dialéctica no es el método de una rama cualquiera del saber, sino el método universal de la actividad cognoscitiva de los hombres; porque concibe la realidad en constante cambio, transformación y desarrollo, y reconoce que en las contradicciones internas de los objetos y fenómenos está la fuente del desarrollo de la realidad.

La actividad, en correspondencia con la concepción dialéctica planteada anteriormente, constituye la forma, desarrollo y transformación de la realidad social, comprende todos los factores del quehacer humano; para el que su contenido es su cambio y transformación racional. Toda actividad del sujeto se encamina al reflejo adecuado de su objeto de conocimiento (sus propiedades y regularidades) y a su transformación. A partir de lo anterior, se considera que la relación del individuo como sujeto con diferentes objetivos de su actividad social, especifica mejor la base metodológica para analizar la actividad pedagógica, debido a que integra los elementos que permiten entender cómo es posible la transformación del estudiante a partir de su propia actividad.

El conocimiento media toda actividad humana incluyendo su fundamento sustancial: la práctica tiene carácter mediador y deviene proceso de aproximación constante del sujeto al objeto. El conocimiento es el reflejo de la naturaleza por el hombre. (...) abarca lo condicional, aproximadamente de carácter universal, regido por leyes de la naturaleza en eterno desarrollo y movimiento.” (Lenin, 1979) La actividad cognoscitiva se manifiesta como interacción dialéctica sujeto-objeto cuyo resultado se expresa en un determinado conocimiento de la realidad aprendida en dicho proceso y se

comprueba en la práctica pedagógica, permitiendo la interacción del sujeto con su realidad, cuyo resultado es su propio desarrollo.

Desde el punto de vista sociológico la escuela, como eslabón primario de toda institución educacional, es el centro donde se desarrolla el proceso docente educativo, estableciéndose las relaciones directas y organizadas entre los participantes del proceso de educación. Las funciones sociales de la enseñanza y el aprendizaje se desarrollan dentro de la institución atendiendo a la estructura de grupos primarios o secundarios, formales o informales; constituyendo la relación profesor-alumno una de las "unidades estructurales más importantes del organismo social de la enseñanza". Para el profesor resulta imprescindible el conocimiento de la estructura real del sistema de relaciones interpersonales en su clase, y así elaborar estrategias educativas adecuadas para la dinámica grupal y para la atención individual de sus alumnos.

Desde el punto de vista psicológico, al aprendizaje se le puede considerar como un proceso de naturaleza compleja caracterizado por la adquisición de un nuevo conocimiento, habilidad o capacidad. Carlos Álvarez de Zayas, define habilidad desde el punto de vista pedagógico: "aprovechar los datos, conocimientos, conceptos que se tienen, operar con ellos para la educación de las propiedades sustanciales de los casos y la resolución exitosa de determinadas tareas teóricas y prácticas teniendo en cuenta la acción o sistema de operaciones que responde a un objetivo". Estos modos de actuación (habilidades) se caracterizan por ser útiles en diferentes contextos: aplicando conocimientos y acciones conocidas, experimentando, extrapolando y elaborando combinaciones según experiencias. (Citado por Márquez, 1990).

Las habilidades investigativas de carácter general incluyen las relacionadas con los procesos lógicos del pensamiento (análisis- síntesis, comparar, abstraer y generalizar); precedentes para la formación de las habilidades relacionadas con las acciones intelectuales (observar, describir, comparar, definir, caracterizar, ejemplificar, explicar, argumentar, demostrar, valorar, clasificar, ordenar, modelar y comprender problemas) y las habilidades docentes generales (realizar búsqueda de información y las comunicativas). De ahí que, para la asimilación de los modos de actuación, para el aprender a hacer, el estudiante debe hacer, es decir, realizar un conjunto de acciones, que si se desglosan en operaciones y se conforma un algoritmo de trabajo, resulta más efectivo el proceso de asimilación.

En la investigación "Algunas consideraciones teórico-metodológicas para el tratamiento de las habilidades" (Márquez 1990), se plantea el principio de la unidad de los conocimientos y las habilidades; que se explica porque el nivel de desarrollo de una habilidad, su precisión, su rapidez, está condicionada por la realización de acciones y operaciones con un objeto determinado. Lo anterior infiere la necesaria adquisición de conocimientos, el descubrimiento de la estructura del objeto, sus componentes, los nexos entre ellos, la lógica de sus movimientos o evolución, su utilidad, su naturaleza, así como otras

características cuya apropiación por el sujeto harán posible una conducta racional acorde con las propiedades inherentes al objeto y la tarea a desplegar.

Se induce la actuación mediante planeamientos de objetivos y actividades docentes, provocando que los estudiantes pongan en funcionamiento acciones y operaciones que puedan sintetizarse en las habilidades profesionales a desarrollar en las especialidades. Se requiere que el profesor esté consciente de cuáles son las invariantes funcionales que los estudiantes deben realizar, y al plantear los objetivos; los estudiantes deben hacerlos suyos, para que este contribuya realmente a la formación de las habilidades. La práctica pedagógica indica que existen algunos requisitos a tener presentes para el desarrollo de las habilidades, entre los que se encuentran la complejidad y la flexibilidad de la ejecución, dadas por el grado de variabilidad de los conocimientos y los contextos de actuación en que son aplicadas las habilidades.

También es importante la necesidad de propiciar situaciones de aprendizaje que permitan a los estudiantes, en dependencia de sus propios recursos, realizar las variantes funcionales de una determinada ejecución del modo que le sea más cómodo y eficiente. Esto posibilita crear un ambiente de aceptación y confianza en el aula, permitiendo la atención a las diferencias individuales. En el desarrollo de las habilidades es necesario determinar aquellas que resultan esenciales, que en calidad de invariantes, deben aparecer en el contenido de las asignaturas. Estas son las que indefectiblemente deben dominarse, asegurando el desarrollo de conocimientos y de otras habilidades, es decir, la formación del egresado con aquellas potencialidades que le permitan resolver problemas mediante la aplicación de dichas invariantes.

Las bases psicológicas contenidas en la ley genética del desarrollo, el enfoque histórico cultural que hace Vygotsky (1985) en su teoría, forman parte de sus aportes esenciales que se pueden encontrar concretados alrededor del concepto de situación social de desarrollo y zona de desarrollo próximo. La situación social del desarrollo, como su nombre indica, es una situación que por sus exigencias promueve el desarrollo y es propia de cada sujeto concreto, pero lo característico de esta situación es que esas exigencias e influencias no se producen entre el adolescente y su entorno en una interrelación espontánea, sino que surgen a partir de su interrelación con los adultos, quienes les plantean dichas exigencias y ejercen esas influencias, de ahí que sea una situación social.

Desde esa posición, resulta una limitación de cualquier estrategia de aprendizaje para favorecer el desarrollo de las habilidades, cuyo soporte teórico esencial sea el enfoque histórico – cultural, el no considerar los elementos recogidos en el concepto de zona de desarrollo próximo: “[...] distancia entre el nivel real de desarrollo determinado por la capacidad de resolver el problema y el nivel de desarrollo potencial, determinado a través de la resolución de un problema bajo la guía de un adulto o en la colaboración de un compañero más capaz” (Vygotsky, 1985). Por tanto, expresa la dificultad relativa que una tarea

o problema plantea al sujeto cuando se debe realizar con o sin la cooperación de otros.

Álvarez de Zayas (1999), asevera que el proceso enseñanza-aprendizaje está condicionado por las exigencias sociales. En ese sentido, el preuniversitario es una institución social cuyos procesos formativos están hechos a imagen y semejanza de la sociedad. El proceso enseñanza - aprendizaje es el encargado de dirigir el desarrollo de las habilidades intelectuales, tiene la finalidad de enseñar a aprender y enseñar a pensar a los futuros egresados, donde el mismo aprende lo que debe hacer, cómo lo va hacer y para qué le sirve lo que va hacer basado en el modo de actuación en la vida. El resultado de esta organización será el desarrollo de las habilidades para la concepción científica del mundo, permitiéndole al alumno detectar y solucionar los problemas del objeto de su futura profesión al elaborar estrategias con ese fin.

En el proceso de formación de las habilidades, la posición del alumno como sujeto es lo que jerarquiza la estructura del sistema. Esta concepción demuestra que este proceso reúne lo didáctico y lo psicológico en una integridad cualitativa superior. La formación y desarrollo de las habilidades investigativas es un proceso que transcurre por diferentes etapas, desde la actividad exterior hacia la interior. Esto trae consigo el dominio de acciones diversas y es resultado de la sistematización de esas acciones subordinadas a objetivos conscientes. Es necesario estructurar los pasos a seguir en el terreno pedagógico (diseñar estrategias) en correspondencia con las características de la acción, planteándole a los estudiantes objetivos que le exijan la realización de un mismo tipo de acción a un determinado nivel de asimilación.

Desde el punto de vista pedagógico, se consideran el principio de la unidad de lo afectivo-cognitivo, y el principio de la vinculación de la educación con la vida, el medio social y el trabajo. Lo afectivo-cognitivo ha de estructurarse sobre la base de la unidad de la relación que existe entre las condiciones humanas: la posibilidad de conocer el mundo y al mismo tiempo, la posibilidad de sentir, de actuar, de ser afectado por ese mundo. De acuerdo con Fernando González Rey, este principio constituye uno de los niveles más completos en que se produce esta relación. De manera general, en el campo educativo, esta relación ha estado reducida a la selectividad y dirección de los procesos cognitivos bajo los efectos de la motivación. Es decir, durante el proceso enseñanza-aprendizaje el profesor deberá lograr que el alumno se comprometa con la tarea del estudio.

Desde el punto de vista didáctico, resulta para la asignatura de física un tema muy importante concluir los objetivos básicos de la disciplina. Los mismos están dirigidos a completar la información necesaria, con el fin de aportar los elementos indispensables a la cultura general integral de los jóvenes. Los aspectos que aportan la información requerida, de modo general son: los elementos físicos y medio ambientales, con gran actualidad en las aplicaciones en toda la actividad humana. Todo este conjunto de ideas se desarrollan promoviendo la actividad del estudiante en la construcción del conocimiento,

siguiendo el paradigma de la actividad científica investigadora como sustento de actuación en la ciencia y la teoría de la actividad, elaborada por la psicología marxista, como sostén del proceder en el plano psicológico.

La exigencia cultural de estos saberes condicionará la razón de su nivel de profundidad, historicidad, complejidad matemática y sobre todo su incidencia en los aspectos valorativos, conductual, afectivo y cognoscitivo de la personalidad del estudiante. Todo lo anterior con la visión común de entender la naturaleza desde la posición científica, consecuencia de la obra humana y por tanto susceptible de continua profundización, fruto de la permanente construcción del conocimiento bajo la línea directriz de la actividad científica investigadora.

Al resumir el análisis efectuado de los referentes teóricos (filosófico, sociológico, psicológico, pedagógico y didáctico), se llega al reconocimiento de la esencia social de la ciencia y su condicionamiento político, ideológico y económico, causa de una visión ética de la actividad científica y de la sociedad en general, en correspondencia con el enfoque sociocultural que se enseñe y aprenda en las escuelas. Todo contenido se presentará en la solución de problemáticas y tareas teóricas, prácticas y experimentales debidamente diseñadas. En el curso de la solución de problemas y tareas deben ponerse en práctica todas las etapas del trabajo científico investigativo, lo cual define para cada ocasión el tipo de actividad que realizan los alumnos, a través de las cuales se alcanza el aprendizaje.

La formulación y planteamiento de problemas y tareas abiertas, su acotamiento a situaciones concretas, la formulación de hipótesis, el diseño de estrategias de solución y en ellas el diseño de experimentos serán contenidos y métodos de trabajo permanentes y definirán el patrón de actuación de los alumnos y profesores. Una educación científica, consecuente con el pensamiento martiano, tiene que preparar al hombre para la vida, a tono con su tiempo, prestando la debida atención a la educación en ciencia, tecnología y sociedad. En el marco de la revolución educacional, con necesarias transformaciones curriculares, se requiere la actualización de los contenidos de ciencias, y se impone una actualización dirigida a la comprensión de las relaciones con base en el desarrollo científico y tecnológico.

Se revela un cambio de la concepción didáctica tradicional a la didáctica desarrolladora e interdisciplinar, que se precisa en la orientación sociocultural para el proceso de enseñanza – aprendizaje de la física. Como contribución a la teoría y práctica pedagógicas se recomienda proponer un modelo del proceso de enseñanza-aprendizaje sustentado en proyectos de aprendizaje y una estrategia didáctica como concreción del modelo que favorezca el desarrollo de las habilidades investigativas en los estudiantes, así como ejemplos y orientaciones metodológicas para su aplicación. Estos resultados serán de gran importancia pues tendrán los docentes un material teórico y práctico que sirva de guía para reorientar la impartición de la física.

A continuación se expone el análisis de hipótesis de partida para la propuesta de enseñanza de nociones de física de semiconductores, en preuniversitario.

En la investigación “Física de semiconductores en la enseñanza básica de la electrónica: primeros pasos de un proceso de transposición didáctica” (García-Carmona, 2011), se analiza un sistema de hipótesis didácticas específicas, establecidas como punto de partida en el diseño y desarrollo de la propuesta de enseñanza. Respecto al diseño de propuestas didácticas, varios autores consideran establecer como elemento prioritario la motivación de los alumnos y darles buenas razones sobre el interés del tópico que se propone estudiar. Asimismo, se argumenta que el profesor debe tener en cuenta la relación entre el tópico que se va a enseñar y el conocimiento previo y/o cotidiano de los alumnos sobre el mismo.

Esto servirá de orientación en el momento de seleccionar los contenidos y objetivos de aprendizaje. También se considera que es fundamental tener presentes los resultados de investigaciones didácticas previas referidas al tópico que se va a enseñar, con especial atención a aquellas desarrolladas en contextos educativos similares. Al resumir las ideas anteriores, Buty, Tiberghien y Le Maréchal (2004) proponen tres hipótesis clave para la construcción de propuestas didácticas: hipótesis sobre el conocimiento, hipótesis sobre el aprendizaje e hipótesis didáctica. En cada una de ellas se tienen en cuenta aspectos epistemológicos, psicológicos y didácticos, dando mayor importancia a unos u otros según el caso.

En relación con la hipótesis sobre el conocimiento, se parte del concepto de transposición didáctica definido por Chevallard (1997). El concepto hace referencia al proceso mediante el cual se pasa del conocimiento científico a la ciencia que va a ser enseñada en la escuela. Además, dentro de la hipótesis sobre el conocimiento, distinguen dos hipótesis complementarias:

- Hipótesis sobre modelización. Sugiere que las teorías y modelos se introduzcan con un nivel de profundización coherente con la edad y/o desarrollo cognitivo de los alumnos. Igualmente, las tareas deben ser diseñadas de modo que los alumnos puedan acceder al conocimiento, confrontando el suyo previo con el establecido por el ámbito científico.
- Hipótesis sobre los registros semióticos. En la enseñanza de las ciencias suelen emplearse diferentes registros semióticos: lenguaje cotidiano, lenguaje algebraico, gráficos, esquemas, etc. Por tanto, se debe descomponer el conocimiento científico en los diferentes registros semióticos, así como probar y decidir cuáles son los más adecuados para el nivel educativo y/o grupo clase en cuestión, para lo cual se debe procurar anticipar las posibles dificultades de los alumnos en relación con cada uno de ellos.

Con respecto a la hipótesis sobre el aprendizaje, Buty y otros (2004) consideran que el diseño de una secuencia debe tomar como base la idea planteada por Vigotsky en su teoría sobre la zona de desarrollo próximo del alumno. Es decir,

la secuencia debe partir del conocimiento previo de los alumnos sobre el tópico y considerar qué posibilidades tienen de adquirir el nuevo conocimiento, de acuerdo con su desarrollo cognitivo y con la ayuda del profesor.

En correspondencia con lo anterior, varios autores argumentan que la secuencia del aprendizaje debe cubrir la “distancia” entre ese conocimiento previo y el conocimiento científico que va a ser enseñado. Con tal propósito será importante establecer las ideas y/o conceptos clave (“naciones fundadoras”), a partir de los cuales se va a desarrollar la nueva trama conceptual.

En el caso de la hipótesis didáctica, algunos autores se refieren a los factores y circunstancias que influyen en la implementación de una propuesta de enseñanza en el aula. Destacan, entre otros aspectos, que la implementación de la propuesta será más satisfactoria en la medida en que los alumnos se impliquen activamente en su estudio; lo cual, lógicamente, exige el empleo de estrategias didácticas motivadoras. En la actualidad, la estrategia didáctica que parece más efectiva, entre otras cosas porque estimula la participación de los estudiantes, es la que plantea el aprendizaje como una actividad investigadora, orientada por el profesor conforme a las características (cognitivas, contextuales, etc.) de sus alumnos.

A manera de resumen, se plantea que la propuesta de enseñanza de nociones de física de semiconductores en preuniversitario puede partir de las siguientes hipótesis:

- 1) Los alumnos, a priori, pueden activar ideas inadecuadas sobre física de semiconductores, más aún si no han estudiado el tópico con anterioridad.
- 2) Al no encontrar en la literatura estudios precedentes relativos al aprendizaje de física de semiconductores en preuniversitario, es conveniente realizar una investigación piloto, que proporcione datos y conclusiones acerca de la viabilidad de su enseñanza en dicho nivel. Esos resultados serán un punto de partida para la elaboración de una propuesta didáctica fundamentada.
- 3) La transposición didáctica de la Física de semiconductores al nivel de preuniversitario debe hacerse de manera que los conceptos del tópico conecten adecuadamente con los ya incluidos en el currículo de ciencias del nivel; concretamente, con los dedicados al estudio de la materia y la electricidad; con lo cual, aquellos conceptos de física de semiconductores que no puedan ser construidos directamente a partir de tales contenidos serán excluidos de los objetivos de aprendizaje. Ello plantea la necesidad de establecer los conceptos clave de electricidad y materia, que constituirán los pilares esenciales para el nuevo aprendizaje. Asimismo, los modelos y registros semióticos que se introduzcan deben estar en sintonía con las características de los alumnos del nivel.
- 4) Para motivar a los alumnos al estudio de nociones de física de semiconductores, antes se les debe dar buenas razones sobre la importancia de los materiales semiconductores en el desarrollo de la electrónica.

Además, las tareas que se propongan deben ser lo más sugerentes posible, con el fin de atraer la atención del alumno hacia su estudio. Un buen modo de lograrlo es mediante el diseño de una secuencia de enseñanza que impulse el aprendizaje por investigación.

- 5) La introducción de física de semiconductores requiere reestructurar la programación de la asignatura, sin menoscabo del resto de contenidos, y dentro del horario lectivo disponible. Pudiera hacerse, seleccionando los contenidos sobre materia y electricidad que sean imprescindibles para el aprendizaje del nuevo tópico. Se debe tener en cuenta el carácter abierto del currículo, y que el profesor es quien debe concretar los objetivos de aprendizaje que estime conforme a su contexto. No obstante, los contenidos no seleccionados, pudieran ser tratados en otro momento.
- 6) Para que la enseñanza de física de semiconductores sea lo más efectiva posible, es necesario que exista una adecuada coordinación entre los profesores de ciencias. Estos deben delimitar lo que va a ser enseñado sobre semiconductores en cada una de las materias y, a la vez, establecer una conexión directa entre los contenidos de cada una.

Seguidamente, se expone el análisis de obstáculos en el aprendizaje sobre física de semiconductores, para los estudiantes de preuniversitario, y la identificación de la demanda de aprendizaje. Según un estudio piloto (García-Carmona y Criado, 2009), mediante una secuencia de enseñanza experimental, a fin de obtener datos sobre la comprensión y obstáculos de aprendizaje de alumnos de preuniversitario, se logró determinar la demanda de aprendizaje, que serviría de guía para el diseño de una propuesta didáctica más fundamentada. En lo que sigue se describen brevemente los resultados y conclusiones de dicho estudio.

Sobre el comportamiento de los semiconductores con la temperatura, un primer obstáculo es que los alumnos consideran que el comportamiento eléctrico de los semiconductores, a temperatura ambiente, se debe a que tienen simultáneamente propiedades de conductores y aislantes (mitad conductor y mitad aislante). Es posible superar este obstáculo, si los alumnos logran comprender que el comportamiento eléctrico de los semiconductores –como en el resto de materiales– depende de su estructura y composición química. Y que éstas se modifican ante cambios de temperatura, dando lugar a un comportamiento eléctrico u otro. Por tanto, como prerrequisito, es conveniente que los alumnos adquieran una idea básica del enlace covalente en sólidos, la energía de ionización y la teoría cinética aplicada a los sólidos.

Otro obstáculo se refiere a la relación causa-efecto entre la temperatura y la resistividad de un semiconductor. Algunos alumnos llegan a creer que, en este material, los cambios de temperatura vienen determinados por cambios de la resistividad. Esta confusión podría evitarse si los alumnos, primero, entienden la resistividad como la dificultad que tiene un material para conducir electricidad a causa de su estructura interna; luego, que el estado de agitación de los átomos de esa estructura, y la cantidad de portadores de carga, varía con

la temperatura a la que éste se encuentre. Ello puede ser abordado con ayuda de la teoría cinética aplicada a sólidos (covalentes, en este caso) y el concepto de energía de ionización, ambos incluidos en el currículo de física y química de preuniversitario.

Los alumnos llegan a entender la generación y recombinación de pares electrón-hueco en un semiconductor; también, que los huecos (vacantes de la red cristalina, originadas por los electrones liberados de los enlaces), tras continuos procesos de generación y recombinación, “parecen” moverse por el material en sentido contrario al de los electrones libres. La dificultad surge cuando a esos huecos se les adjudican propiedades corpusculares, como que tienen carga eléctrica positiva. Algunos alumnos no llegan a asimilar que a un hueco (una “ausencia de algo”) se le adjudiquen propiedades que corresponden a las partículas (reales). Además de ello, otros obstáculos frecuentes, en relación con el concepto, son:

- Creer que un hueco, en el proceso de recombinación, es una especie de “funda” permanente de electrones, que adquiere la carga del electrón que llega a “ocuparlo”.
- Tener en cuenta los huecos para determinar si un semiconductor es o no eléctricamente neutro, como si fuesen cargas positivas reales.
- Considerar la recombinación como una atracción electrostática de cargas de signos opuestos (entre huecos y electrones libres).

Ante esto, lo primero que se debe hacer es intentar que el alumno entienda que el concepto de hueco surge como consecuencia del modelo científico que se emplea en el estudio de los semiconductores. Y, a continuación, ponerle de manifiesto su utilidad para comprender el comportamiento eléctrico de dichos materiales. Como se verá después, habrá que plantear las estrategias didácticas oportunas que permitan a los alumnos de preuniversitario adquirir una primera idea del concepto.

Respecto a los semiconductores extrínsecos, se encuentran varios obstáculos de aprendizaje, algunos de los cuales tienen su origen en la inadecuada comprensión del concepto de hueco. Estos obstáculos son los siguientes:

- Los huecos son considerados como “defectos” de la red cristalina del semiconductor y, en consecuencia, las impurezas donadoras son introducidas a fin de corregir tales defectos.
- Se identifica una impureza donadora (átomo pentavalente) con un electrón, y una impureza aceptadora (átomo trivalente) con un hueco.
- Un semiconductor extrínseco deja de ser eléctricamente neutro porque ya no tiene el mismo número de electrones libres y de huecos, de forma que los semiconductores tipo p están cargados positivamente, y los de tipo n, negativamente. En definitiva, se pone de manifiesto que los huecos se confunden con protones.

Evitar estos últimos obstáculos, además de prestar una especial atención al concepto de hueco, requiere hacer énfasis en que las impurezas con las que son dopados los semiconductores son átomos; en que éstos son eléctricamente neutros, y, por tanto, no alterarán el estado eléctrico del semiconductor.

A continuación, se exponen el tratamiento didáctico y los objetivos para una aproximación a la física de semiconductores.

Una vez identificada la demanda de aprendizaje, se describe una transposición didáctica del tópico al nivel de preuniversitario. Se mostraran las partes en las que se desarrolla la propuesta y, en cada una, se indicará cómo se puede pasar del conocimiento científico a la ciencia escolar que va a ser enseñada en esta etapa. Esto es, para cada contenido, se parte de los conceptos o fenómenos científicos del tópico, y luego se localizan aquellos contenidos del currículo de ciencias que pudieran tener relación con los mismos. A continuación, se indica lo que los alumnos ya saben –o, al menos, ya han estudiado– sobre dichos contenidos de referencia; y se termina proponiendo los contenidos que pueden ser enseñados en la etapa, junto con los objetivos de aprendizaje.

Antes de iniciar el estudio de conceptos, habría que motivar a los alumnos en el aprendizaje de nociones de física de semiconductores, tratando, por ejemplo, de que entiendan la importancia de los materiales semiconductores en el desarrollo de la electrónica. Por tanto, lo que se intenta en la parte introductoria es que los alumnos sientan curiosidad por conocer por qué los semiconductores son tan especiales, y qué conceptos y leyes científicas pueden explicarlo. Un modo de abordar esto en clase podría ser planteando a los alumnos preguntas como, por ejemplo:

¿Qué diferencias encuentras entre las calculadoras, computadoras y demás aparatos electrónicos que utilizas actualmente, con los que utilizaban tus familiares cuando tenían tu edad?

¿Cuál ha sido la evolución? ¿A qué crees que ha sido debido?

¿Sabes con qué materiales se fabrican los circuitos electrónicos de los teléfonos móviles, calculadoras, relojes digitales, televisores, etc.?

¿Has oído hablar de los semiconductores? ¿Sabes algo de ellos?

¿Qué presencia tienen los semiconductores en nuestra vida cotidiana?

Con objeto de ayudar a los alumnos a responder estas preguntas, se les puede sugerir: consultar enciclopedias, libros de divulgación o webs dedicadas a instrumentos antiguos y modernos de electrónica, preguntar a sus familiares, con más edad que ellos; por tener una visión más amplia al haber percibido la evolución de los aparatos electrónicos en las últimas décadas. También se pueden leer en clase artículos de divulgación científica, dedicados al reconocimiento de la contribución de los semiconductores al desarrollo de la electrónica. Igualmente, se pueden plantear debates y reflexiones acerca de los

avances científico-tecnológicos, ligados a los semiconductores y, a su vez, al estilo de vida moderno (uso de teléfonos móviles, reproductores MP3-4, etc.).

Una vez puesta de manifiesto la importancia de los semiconductores, se introduce el contenido conceptual, comenzando por los semiconductores intrínsecos.

¿A qué llamamos semiconductores? ¿Qué materiales son semiconductores?

¿Cómo se explica su comportamiento eléctrico a escala microscópica?

Seguidamente, se explica la definición de semiconductor intrínseco.

Los alumnos de 14-15 años ya manejan la tabla periódica de los elementos, analizan las principales propiedades de los elementos representativos y distinguen entre metales y no metales. Asimismo, ya saben que los materiales metálicos son conductores de la electricidad, y los no metálicos, aislantes. En este contexto, se hace alusión a los elementos semimetálicos como aquellos que poseen propiedades intermedias a los metales y no metales. Esto permite introducir el concepto de semiconductor intrínseco (puro) como aquel material compuesto por un semimetal, normalmente de Si o Ge, que a temperatura ambiente posee propiedades eléctricas intermedias a los materiales conductores y aislantes típicos.

La comprensión de la estructura interna de un semiconductor (sustancia sólida covalente) requiere que los alumnos tengan una idea aproximada del enlace covalente, y de la función de los electrones de valencia en la formación de los mismos. El propósito es que asocien la capacidad de los sólidos de conducir electricidad con la cantidad de electrones libres que puedan llegar a tener. En preuniversitario, el enlace covalente suele abordarse desde una perspectiva clásica basada en la regla del octeto de Lewis. Este modelo tiene sus limitaciones, por lo que puede generar ideas inadecuadas en los alumnos. Sin embargo, es intuitivo y eso lo hace útil para hacer una introducción al enlace químico (García-Carmona, 2006; Coll y Treagust, 2003).

Consecuentemente, un modo de representar la estructura covalente atómica de un semiconductor intrínseco es el modelo plano de la figura 1. Se trata de un modelo clásico, bastante simplificado, que permite ofrecer una primera idea de la estructura de estos materiales en preuniversitario (García-Carmona, 2006). Con el modelo de la figura 1, los alumnos pueden comprobar, con relativa facilidad, que cada átomo del semiconductor representado es estable, al compartir sus 4 electrones de valencia con los 4 átomos vecinos más próximos.

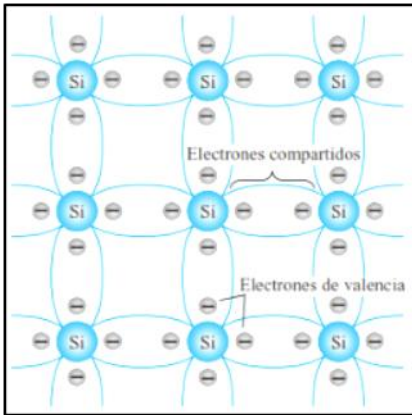


Figura 1. Modelo bidimensional de la estructura covalente de un semiconductor intrínseco de silicio.

Según Tsaparlis y Papaphotis (2002), el uso de modelos más complejos, basados en la teoría cuántica, como el de bandas de energía (Figura 2), suele suponer un obstáculo añadido para los alumnos de esta etapa. Este hecho se corrobora, además, con los hallazgos de una investigación (Wittmann, Steinberg y Redish, 2002), que indican las dificultades que este último modelo plantea, incluso, a alumnos universitarios. No obstante, un análisis introductorio al modelo de bandas de energía, pudiera resultar conveniente como información adicional para dominio de los profesores; partiendo de que, dentro de la estructura atómica de cada átomo aislado hay niveles específicos de energía asociados con cada capa y electrón en órbita, como se muestra en la figura 2.

Boylestad (2009), expone que los niveles de energía asociados con cada capa son diferentes, según el elemento. Sin embargo, cuanto más alejado está un electrón del núcleo, mayor es su estado de energía y cualquier electrón que abandona su átomo, tiene un estado de energía mayor que todo electrón que permanezca en la estructura atómica. Se observa en la figura 2a que sólo puede haber niveles de energía específicos (discretos) para los electrones. El resultado es una serie de brechas, donde no se permiten portadores entre niveles de energía permitidos. Sin embargo, conforme los átomos se acercan para formar la estructura entrelazada cristalina, interactúan, lo cual hace que los electrones de una capa particular de un átomo tengan niveles de energía ligeramente diferentes de los electrones en la misma órbita de un átomo adyacente.

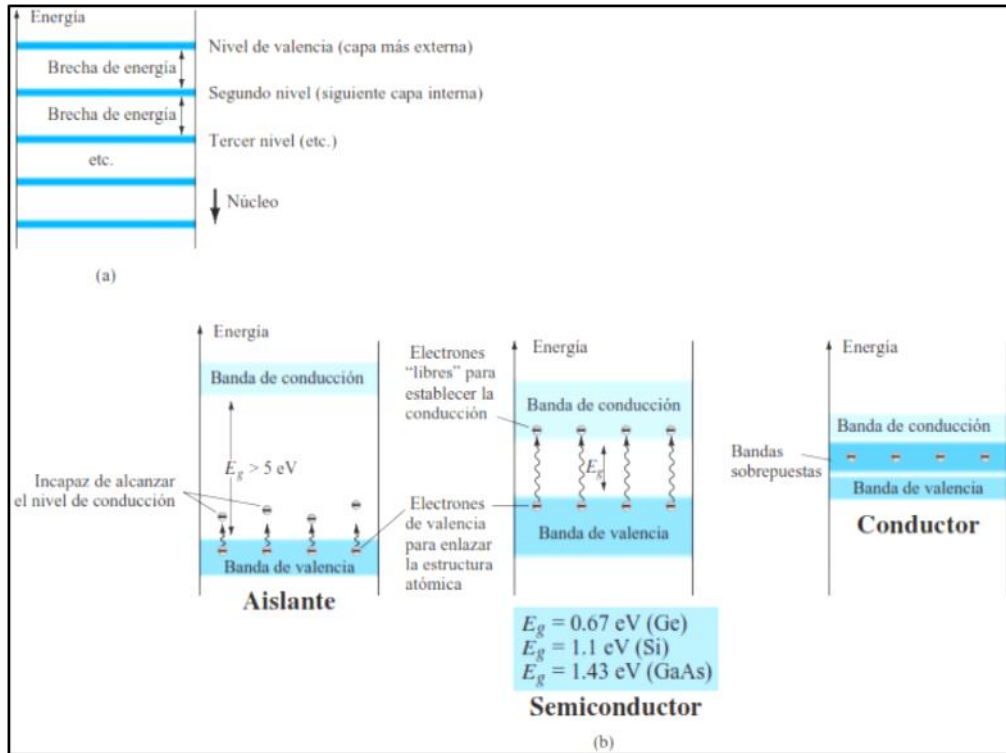


Figura 2. Niveles de energía: (a) niveles discretos en estructuras atómicas aisladas; (b) bandas de conducción y valencia de un aislante, un semiconductor y un conductor.

El resultado es una expansión de los niveles de energía fijos discretos de los electrones de valencia de la figura 2a, a bandas, como se muestra en la figura 2b. En otras palabras, los electrones de valencia de un material de silicio pueden tener diversos niveles de energía, en tanto se encuentren dentro de la banda de la figura 2b. La figura 2b revela con claridad que hay un nivel de energía mínimo asociado con electrones que se encuentran en la banda de conducción y un nivel de energía máximo de electrones enlazados a la capa de valencia del átomo. Entre los dos hay una brecha de energía que el electrón en la banda de valencia debe salvar para convertirse en portador libre. Esa brecha de energía es diferente para Ge, Si y GaAs; el Ge tiene la brecha mínima y el GaAs la máxima.

En resumen, esto significa que un electrón en la banda de valencia de silicio debe absorber más energía que uno en la banda de valencia de germanio para convertirse en portador libre. Asimismo, un electrón en la banda de valencia de arseniuro de galio debe absorber más energía que uno en la de silicio o germanio para entrar a la banda de conducción. Esta diferencia en los requerimientos de las brechas de energía revela la sensibilidad de cada tipo de semiconductor a los cambios de temperatura. Por ejemplo, al elevarse la temperatura de una muestra de Ge, el número de electrones que pueden absorber energía térmica y entrar a la banda de conducción se incrementa con rapidez porque la brecha de energía es mínima. Sin embargo, el número de electrones que entran a la banda de conducción en Si o GaAs es mucho menor.

Esta sensibilidad a los cambios de nivel de energía puede tener efectos positivos y negativos. El diseño de fotodetectores sensibles a la luz y los sistemas de seguridad sensibles al calor, parecen ser una excelente área de aplicación de los dispositivos de Ge. No obstante, en el caso de redes de transistores, en las que la estabilidad es de alta prioridad, esta sensibilidad a la temperatura o a la luz puede ser un factor perjudicial. La brecha de energía también revela qué elementos son útiles en la construcción de dispositivos emisores de luz como diodos emisores de luz (LED, por sus siglas en inglés). Cuanto más ancha es la brecha de energía, mayor es la posibilidad de que la energía se libere en forma de ondas luminosas visibles o invisibles (infrarrojas).

En el caso de conductores, el traslape de las bandas de conducción y valencia provoca esencialmente que toda la energía adicional absorbida por los electrones se disipe en forma de calor. Asimismo, en el caso de Ge y Si, como la brecha de energía es tan pequeña, la mayoría de los electrones que absorben suficiente energía para abandonar la banda de valencia terminan en la banda de conducción, y la energía se disipa en forma de calor. Sin embargo, en el caso de GaAs la brecha es suficientemente grande para producir radiación luminosa. En los LEDs, el nivel de dopado y los materiales seleccionados determinan el color resultante. En la figura 2, la unidad de medición utilizada para la energía (W) es electrón-volt (eV). Esta unidad resulta al sustituir q en $W = qV$, por la carga de un electrón bajo una diferencia de potencial V de un 1 volt; obteniéndose un valor de energía conocido como electrón-volt.

A continuación, se explica el comportamiento eléctrico de un semiconductor intrínseco.

La resistencia eléctrica, como magnitud que da cuenta de la oposición de los materiales al paso de corriente eléctrica, suele ser bien asimilado por los alumnos; pero, el concepto de resistividad eléctrica genera más dificultades de comprensión. García-Carmona (2006) ha comprobado, por ejemplo, que alumnos de preuniversitario creen que la pérdida de conducción eléctrica de un metal (aumento de su resistividad), a altas temperaturas, se debe a un “efecto de compensación” por el cual “los electrones reducen su movilidad, a fin de intentar evitar el calentamiento del metal”.

Si bien el concepto de resistividad es esencial en física de semiconductores, como primera aproximación, en preuniversitario el concepto puede ser introducido como una característica propia de cada tipo de material (determinada por su estructura y composición química), independiente de sus dimensiones, que da idea de su oposición intrínseca al paso de corriente eléctrica (Pierret, 1994). Además, habría que añadir que el valor de la resistividad varía según la temperatura del material. La influencia de la temperatura sobre la resistividad de los materiales puede ser comprendida a partir de la teoría cinética y del concepto de energía de ionización, en los términos previstos para preuniversitario.

En la literatura existen numerosos trabajos dedicados a las dificultades de aprendizaje de los alumnos de enseñanza media sobre la teoría cinética. Benarroch (2000) las sintetiza en: una tendencia a imaginar la materia en términos macroscópicos, en vez de hacerlo a partir de su carácter discontinuo; una tendencia a trasladar las propiedades macroscópicas de un sistema hacia las microscópicas; la conceptualización, en el mejor de los casos, de un modelo corpuscular estático.

El concepto de energía de ionización suele generar dificultades de comprensión en los alumnos de distintas etapas. Consecuentemente, en preuniversitario se considera suficiente definirla como la energía necesaria para liberar electrones de valencia de sus enlaces, sin distinguir si se trata de la 1^a, 2^a, 3^a energía de ionización. En función de los dos conceptos anteriores, los alumnos pueden adquirir una primera idea de por qué la resistividad de un material metálico (conductor) aumenta con la temperatura, y, sin embargo, en un semiconductor ocurre lo contrario. Se espera que comprendan que los metales (con bastantes electrones libres a bajas temperaturas) se convierten en malos conductores eléctricos a altas temperaturas, porque los átomos de la red aumentan su estado de vibración en torno a sus posiciones de equilibrio, obstaculizando así el movimiento de la gran cantidad de electrones libres.

Sin embargo, en los semiconductores (sólidos covalentes) un aumento de temperatura produce rupturas en sus enlaces y, en consecuencia, la liberación de electrones de valencia –cuando adquieren la energía de ionización–, los cuales estarán dispuestos a formar una corriente eléctrica en el momento en que sea aplicado un voltaje, lo que explica la disminución de resistividad en los semiconductores al subir la temperatura. Lo dicho sobre la liberación de electrones de la red covalente de un semiconductor permite hacer una primera introducción al concepto de hueco. Con el modelo clásico y simplificado de semiconductor empleado, un hueco puede ser definido como la vacante que deja un electrón de valencia liberado de un enlace (Pierret, 1994).

Por tanto, la teoría cinética y el concepto de energía de ionización permiten hacer una primera introducción a dos procesos esenciales en física de semiconductores: la generación y la recombinación de pares electrón-hueco. El propósito es que los alumnos entiendan que cuando los electrones de enlace, compartidos por los átomos de la red, adquieren la suficiente energía (de ionización) para romper el enlace, se convierten en electrones libres dejando las correspondientes vacantes (huecos) en la red (generación de un par electrón-hueco). Suele ser relativamente fácil para los alumnos deducir que por cada electrón liberado de la red aparece un hueco; y que en un semiconductor puro siempre existirá el mismo número de electrones libres y huecos.

Asumiendo que los alumnos ya tienen en mente que un material es buen conductor si tiene muchos electrones libres, se espera que comprendan que la generación de muchos pares electrón-hueco convierta al semiconductor en un buen conductor de electricidad. No obstante, conviene matizar que la temperatura necesaria para romper los enlaces covalentes del semiconductor y

convertirlo en buen conductor de la electricidad es realmente grande (en torno a 600 K para el Si). De modo que decir que “la conducción eléctrica de los semiconductores aumenta con la temperatura”, sin más, debe entenderse como una simplificación que hacemos dentro del carácter introductorio de la propuesta.

En este contexto se puede hacer alusión a la aplicación de los semiconductores en la generación de energía fotovoltaica. Se intenta que los alumnos adquieran una idea básica de la aplicación, llegando a entender –como primera aproximación– que la luz solar proporciona la energía de ionización necesaria para liberar electrones de la estructura covalente, que pueden formar parte de una corriente eléctrica. Respecto al proceso de recombinación de pares electrón- hueco, el objetivo es que los alumnos entiendan que los electrones libres pierden parte de su energía debido a los múltiples choques con la red cristalina del semiconductor. Por tanto, vuelven a caer sobre la red, ocupando los huecos dejados por otros electrones liberados y quedando enlazados nuevamente.

Conceptos referidos a los portadores de carga de un semiconductor: electrones y huecos.

Los alumnos de 14-15 años ya tienen una primera idea de la ley de Ohm, y de las magnitudes físicas que se relacionan en dicha ley (intensidad, voltaje y resistencia eléctrica). También han estudiado que los portadores de carga eléctrica en los conductores son los electrones. El aspecto novedoso que se introduce con los semiconductores es que, además de los electrones, existe otro tipo de portador de carga: el hueco. Anteriormente se ha definido el hueco como la vacante que deja un electrón liberado de la red covalente del semiconductor. Además de esto, en física de semiconductores, a un hueco se le adjudican una serie de propiedades corpusculares, con el fin de hacer más fácil la comprensión de la conducción eléctrica en estos materiales.

Los huecos se comportan como partículas con las mismas propiedades que los electrones libres, pero con carga positiva, de modo que si se aplica un voltaje al semiconductor, los huecos “generan” una corriente eléctrica positiva que circulará en sentido opuesto a la producida por los electrones (movimiento de electrones y huecos en un semiconductor). Al principio, el concepto de hueco suele ocasionar dificultades de comprensión a los alumnos de preuniversitario; principalmente, porque su sentido común les puede inducir a rechazar que algo “vacío” funcione como una carga eléctrica (García-Carmona, 2007). Después de todo, como señala Zeghbrock (2004), los electrones son los únicos portadores de carga reales en un semiconductor.

En efecto, los huecos sólo existen dentro de un semiconductor, y, a diferencia de los electrones, nunca podrán extraerse del material. Pierret (1994) argumenta que este tipo de conflictos mentales suele ser consecuencia de las imperfecciones, o limitaciones, que tienen los modelos que utilizamos en ciencias. Sin embargo, en la enseñanza de las ciencias se tiene que considerar

dichas limitaciones, y tratar de buscar las formas más adecuadas para que los conceptos puedan ser comprendidos por los alumnos.

Mediante el uso de analogías, los alumnos de preuniversitario pueden adquirir una idea aproximada del concepto de hueco. Se sugiere imaginar, por ejemplo, que se tienen seis vasos y cinco bolas. Se disponen en línea los vasos, y se introducen las cinco bolas en los primeros cinco vasos, dejando el primer vaso vacío, situado más a la izquierda. Ahora se mueve la bola del segundo vaso hacia el primero, la bola del tercero hacia el segundo vaso que ha quedado vacío, y así sucesivamente. La impresión es que el vaso vacío (hueco) parece moverse de izquierda a derecha, es decir, en sentido contrario al movimiento de las bolas (electrones). Lógicamente, esto es posible porque hay diferente número de vasos (huecos) y bolas (electrones); por tanto, si se opta por emplear la analogía, será conveniente hablar de sus limitaciones y aclarar que no es realmente válida para representar a un semiconductor intrínseco (puro).

Se ha dicho que la concepción de un hueco como portador de carga eléctrica es consecuencia de los modelos que se utilizan para facilitar la comprensión del comportamiento eléctrico de los semiconductores, lo que es fácilmente justificable cuando se emplea el modelo de bandas de energía.

Sin embargo, en el contexto del modelo clásico bidimensional de semiconductor, se puede utilizar la analogía anterior para justificar la utilidad del concepto de hueco. Se sugiere imaginar ahora, que se tienen muchos vasos vacíos y sólo unas pocas bolas que se mueven continuamente saltando de unos vasos a otros. En este caso, es fácil seguir el movimiento de las bolas (electrones). Pero, si lo que hay son muchas bolas y sólo unos cuantos vasos vacíos, es más eficaz seguir qué vasos quedan vacíos en cada momento (huecos) que intentar llevar un registro del movimiento de todas las bolas.

Como se ha comentado, la asignación de un carga positiva a los huecos suele producir conflictos cognitivos, porque pueden confundirse con protones. En este sentido, es preciso incidir en que: los protones son cargas reales y los huecos no; y los huecos pueden moverse y generar una corriente eléctrica, mientras que los protones no, al encontrarse en el interior del núcleo atómico. A fin de evitar la idea de que el proceso de recombinación se debe a una atracción electrostática entre un hueco y un electrón, se puede analizar lo que ocurre con la energía de un “objeto” tras sufrir numerosos choques en su camino. La finalidad es que entiendan que los electrones libres van perdiendo parte de su energía por los múltiples choques con los átomos de la red, y terminan “cayendo” sobre los huecos, creados por otros electrones liberados.

Habría que dedicar tiempo a hacer ver al alumno que, decisiones como la de adjudicar propiedades corpusculares a los huecos son frecuentes en ciencia, sobre todo cuando se construyen modelos para intentar explicar “lo que no podemos observar a simple vista” (fenómenos microscópicos), pero que sabemos de su manifestación. Se les puede evocar que en cursos anteriores han empleado modelos, cuando han abordado el estudio de la materia, con

expresiones como: “los átomos son “bolitas”, en el modelo atómico de Dalton; “el núcleo es como el Sol y los electrones como los planetas”, en el modelo atómico de Rutherford.

Una vez que han sido tratados los semiconductores puros (intrínsecos), se introducen los semiconductores extrínsecos. Se puede comenzar haciendo alusión a las limitaciones de los primeros, como que sólo conducen bien la electricidad a altas temperaturas. Por tanto, se trata de poner de relieve la idea de que los científicos y tecnólogos, que diseñan dispositivos electrónicos, se plantean la necesidad de manipular de algún modo estos materiales, con el propósito de mejorar sus prestaciones. Por ejemplo, conseguir que estos materiales conduzcan bien la electricidad a temperatura ambiente. Surge así el concepto de semiconductor extrínseco.

¿Cómo pueden ser modificados los semiconductores para mejorar sus propiedades eléctricas?

Como los alumnos distinguen las sustancias puras de las impuras, el semiconductor extrínseco puede definirse como resultado de haber sido dopado con impurezas, a fin de mejorar su conducción eléctrica sin aumentarle la temperatura.

Antes de abordar el proceso de dopado de un semiconductor, se puede preguntar a los alumnos si han oído antes la palabra dopado (es posible que la hayan oído en el ámbito del deporte). En el momento que tienen una idea general de lo que es “dopar”, se les plantea si saben qué impurezas habría que introducir a un semiconductor para modificar su número de portadores de carga (electrones o huecos). Para ayudarles a responder se les puede dar la pista de que los portadores procederán de los electrones de valencia de los átomos introducidos.

Lo que se espera es que lleguen a la conclusión de que el dopado de un semiconductor consiste en introducirle átomos de otros elementos diferentes y que, por tanto, tendrán diferente número de electrones de valencia que el Si/Ge. Los alumnos de preuniversitario suelen entender sin mucha dificultad que así el semiconductor se convierte en una sustancia impura (semiconductor extrínseco). Una vez que los alumnos llegan a asociar el proceso de dopado con la introducción de átomos extraños, se les cuestiona si sería lógico que se introdujese cualquier tipo de átomos o si debe haber algún tipo de restricción.

Se les puede dar una primera pista: que los átomos introducidos no rompan, o no alteren significativamente, la estructura cristalina del material. Con ello se intenta que deduzcan que las impurezas introducidas deben tener un tamaño similar al de los átomos del semiconductor (Si/Ge). Luego se les sigue dando pistas que les ayuden a concluir que ello se consigue introduciendo átomos pentavalentes o trivalentes, es decir, con un electrón de valencia más o menos, respectivamente, que el Si/Ge (átomo tetravalente). Después de que se hayan identificado las impurezas con las que suelen ser dopados los semiconductores, el objetivo es entender qué consecuencias tienen éstas en el comportamiento

eléctrico de los mismos, lo que puede conseguirse mediante el modelo/esquema bidimensional de semiconductor definido, y la regla del octeto.

Luego, se puede cuestionar a los alumnos qué ocurre si a un semiconductor de Si/Ge le es introducido un átomo pentavalente, por ejemplo de Sb (Figura 3) (generación de un electrón libre mediante la introducción de una impureza donadora), se espera que comprueben que tal impureza comparte cuatro de sus electrones de valencia con cada uno de los cuatro átomos de Si/Ge vecinos, quedándole uno de sus electrones desapareado. Seguidamente se plantearía la siguiente pregunta genérica: ese electrón que “sobra”, al no estar implicado en el enlace covalente, ¿requiere una energía de liberación igual que la requerida para romper un enlace covalente? Si es necesario, se aporta la información de que incluso a temperatura ambiente dicho electrón puede adquirir la energía suficiente para convertirse en un electrón libre.

El propósito es que los alumnos entiendan que con la introducción de átomos pentavalentes en un semiconductor, se consigue tener electrones libres sin sus correspondientes huecos; con lo cual, si se aplica un voltaje, la corriente debida a electrones será mayor que la debida a huecos.

A continuación se puede pedir a los alumnos, que investiguen cómo se denominan las impurezas que generan electrones libres en un semiconductor, sin los correspondientes huecos. La intención es que concluyan que dichas impurezas se denominan impurezas donadoras (átomos pentavalentes). Esto permite, además, definir el concepto de semiconductor extrínseco tipo n (de negativo) como aquel que ha sido dopado con impurezas donadoras y que, por tanto, tiene a los electrones como portadores de carga mayoritarios.

De forma análoga a lo anterior, se pide a los alumnos que analicen qué ocurre cuando se dopa un semiconductor con átomos trivalentes. Se espera que deduzcan que el átomo “extraño” (impureza) no posee el número suficiente de electrones de valencia para completar los cuatro enlaces covalentes. Consecuentemente, surge un hueco en uno de los enlaces (Figura 4), sin que haya sido liberado un electrón. Igualmente, se les pedirá que investiguen cómo se denominan las impurezas que aportan huecos a los semiconductores, sin que lleve aparejado la liberación de un electrón. En este caso, se espera que encuentren que éstas son denominadas impurezas aceptadoras (átomos trivalentes).

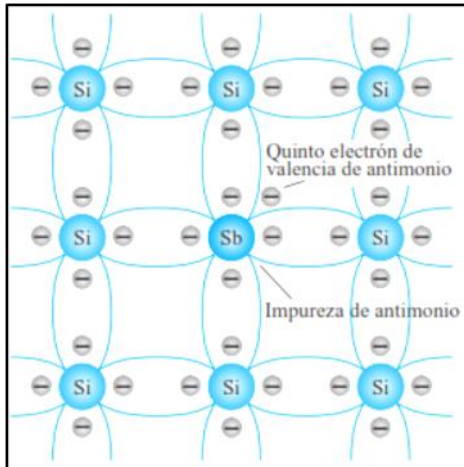


Figura 3. Impureza de antimonio en un material tipo n.

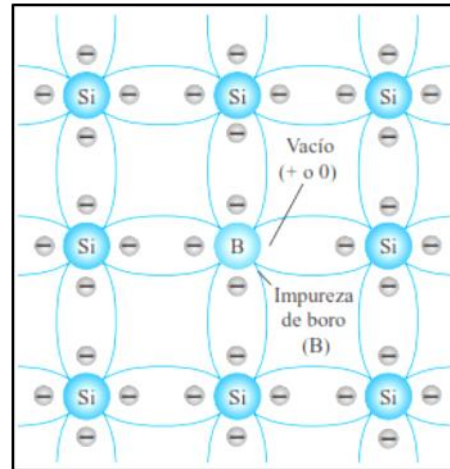


Figura 4. Impureza de boro en un material tipo p.

Se pretende que lleguen a comprender que el dopado de un semiconductor con impurezas aceptadoras, aumenta la concentración de huecos respecto a la de electrones. Asimismo, que los portadores de carga mayoritarios son los huecos (positivos) y que, por ello, al semiconductor se le denomina extrínseco tipo p. Como posibles dificultades de comprensión, anticipamos que, el hecho de que en los semiconductores extrínsecos existan distintas cantidades de electrones libres y huecos, puede hacer pensar que no son eléctricamente neutros. En este sentido, se les puede preguntar: cómo varía la cantidad de electrones y protones de un semiconductor cuando es dopado. Se refuerza así la idea de que las impurezas, tanto donadoras como aceptadoras, son átomos; por tanto, eléctricamente neutros (aportan el mismo número de electrones y protones), con lo que el semiconductor extrínseco también.

CONCLUSIONES

En resumidas palabras, ha sido revelada la importancia social del desarrollo de habilidades investigativas en el proceso de enseñanza – aprendizaje de la Física en preuniversitario, arribando a las siguientes conclusiones:

- El desarrollo de habilidades investigativas posibilita que el individuo sea creativo en la solución de problemas que se presentan en la actualidad.
- Pertrechar a los estudiantes, con herramientas que desarrollen en ellos habilidades investigativas, implica una preparación de los docentes responsables de ella; de forma esmerada, actualizada y consciente.
- Se debe tener en cuenta que el tópico de física de semiconductores se ha planteado, casi en su totalidad, desde una perspectiva clásica, pero no se debe obviar, en niveles de enseñanza superiores, la profundización del estudio según los principios de la física cuántica.
- Es factible el desarrollo de propuestas didácticas para una introducción, en la enseñanza media, a los fundamentos y aplicaciones de la electrónica moderna.

- Cualquier propuesta debe someterse a ensayos que arrojen claridad acerca de su viabilidad y eficacia, previendo el surgimiento de concepciones alternativas que, de manera particular, manifiestan la inquietud y experiencia personal de un profesor investigador, en su contexto educativo.

BIBLIOGRAFÍA

Álvarez de Zayas, C. Didáctica. La escuela en la vida. La Habana: Ed. Pueblo y Educación, 1999.

Benarroch, A. 2000. Del modelo cinético-corpúscular a los modelos atómicos. Reflexiones didácticas. *Alambique Didáctica de Las Ciencias Experimentales*, 23, pp. 95-108

Boylestad, R. L. (2009). Electrónica: teoría de circuitos y dispositivos electrónicos. PEARSON EDUCACIÓN. México. ISBN 978-607-442-292-4.

Buty, C., Tiberghien, A. y Le Maréchal J. F. (2004). Learning hypotheses and an associated tool to de-sign and to analyse teaching-learning sequences. *Journal of Science Education*, 26(5), pp. 579-604.

Chevallard Y. (1997). La transposición didáctica. Del saber sabio al saber enseñado. Grupo editor Aique. Localizable en: http://www.terras.edu.ar/biblioteca/11/11Dide_Chevallard_Unidad_...pdf

Enseñanza de las ciencias. (2011). Física de semiconductores en la enseñanza básica de la electrónica: primeros pasos de un proceso de transposición didáctica. García-Carmona, Antonio y Criado, Ana M. Universidad de Sevilla. Disponible en: https://ddd.uab.cat/pub/edlc/edlc_a2011v29n1p89.pdf [Consultado el 7 de febrero de 2020].

Lenin, V. (1979). Cuadernos Filosóficos. La Habana: Editora Política. 1979.

Márquez, A. 1990. Algunas consideraciones teórico metodológicas para el tratamiento de las habilidades. En soporte magnético. ISP. Frank País García. Santiago de Cuba.

Pierret, R. F. (1994). Fundamentos de semiconductores 2. Ed. USA: Addison-Wesley Iberoamericana.

Tsaparlis, G., & Papaphotis, G. (2002). Quantum-Chemical Concepts: Are They Suitable for Secondary Students? *Chemistry Education Research and Practice*, 3(2), 129–144. Localizable en: <http://doi.org/10.1039/B2RP90011D>

Vygotsky, L. E. (1995). Pensamiento y lenguaje. Teoría del desarrollo cultural de las funciones psíquicas. Buenos Aires: Ediciones Fausto.

Wittmann, M. C., Steinberg, R. N. y Redish, E. F. (2002). Investigating student understanding of quantum physics: spontaneous models of conductivity. *American Journal of Physics*, 70(3), pp. 218-226

Zeghbrock, B. (2004). Principles of semiconductor devices. Disponible en <http://pece-www.colorado.edu/bart~/book/>