

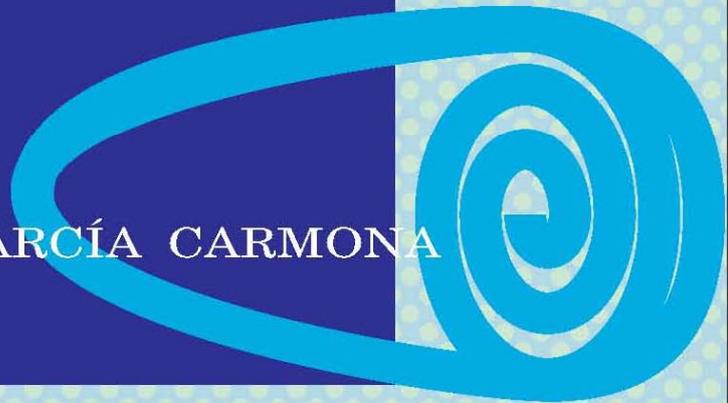


Colectión
MANUALES

FÍSICA DE SEMICONDUCTORES
EN LA EDUCACIÓN CIENTÍFICA SECUNDARIA

ANTONIO GARCÍA CARMONA

Educación Editora ISBN 978-84-691-4077-2 D.L. 91-2008



Física de Semiconductores en la Educación Científica Secundaria

Antonio García-Carmona

Educación Editora

ISBN 978-84-691-4077-2
D.L 91-2008

ÍNDICE

PRESENTACIÓN.....	7
CAPÍTULO 1: RAZONES DIDÁCTICAS Y EPISTEMOLÓGICAS QUE APOYAN LA INTRODUCCIÓN DE NOCIONES DE FÍSICA DE SEMICONDUCTORES EN SECUNDARIA.....	11
1. Introducción.....	13
2. Necesidad de una formación en electrónica básica desde el ámbito de la educación científica.....	14
3. Situación actual de la electrónica en el currículum de ciencias de la Educación Secundaria Obligatoria.....	15
<i>Razones de la insuficiente atención a la electrónica física en el currículo de ciencias de la Educación Secundaria Obligatoria.....</i>	15
4. La física de semiconductores como marco de interrelación física-electrónica en la educación científica básica.....	16
¿Por qué enseñar física de semiconductores?.....	16
¿Qué enseñar física de semiconductores?.....	17
¿Cómo enseñar física de semiconductores?.....	18
¿Cuándo enseñar física de semiconductores?.....	19
5. Conclusiones y perspectivas.....	19
6. Referencias bibliográficas.....	21
CAPÍTULO 2: ESTRATEGIAS PARA LA ENSEÑANZA DE LA FÍSICA DE SEMICONDUCTORES EN UN MARCO CONSTRUCTIVISTA.....	25
1. Introducción.....	29
2. Aproximación al conocimiento científico en los niveles básicos de enseñanza.....	29
2.1 Integración del conocimiento científico en el contexto del aula.....	30
2.2 Influencia del entorno en la enseñanza/aprendizaje de la física.....	32
2.2.1 Las relaciones Ciencia-medio en el currículo de física en la ESO...	32
2.2.2 El clima del aula.....	34
2.3 Aportaciones de la epistemología en los diseños curriculares en física...	35
2.3.1 Influencia de la concepción epistemológica de la Ciencia en la metodología de enseñanza.....	37
2.4 El modelo constructivista en la enseñanza/aprendizaje de la física.....	39
3. Enseñanza de la física de semiconductores en un marco constructivista	42
3.1 Estrategias para la integración de la física de semiconductores en el currículo de ciencias (física y química) de la ESO.....	43
3.2 Tratamiento científico-didáctico de la física de semiconductores en la ESO.....	43
3.2.1 Conceptos preliminares.....	43
3.2.2 Conceptos básicos de física de semiconductores.....	46
3.2.3 Relaciones CTS en la enseñanza de la física de semiconductores.....	51
4. Referencias bibliográficas.....	51

CAPÍTULO 3: LA INVESTIGACIÓN-ACCIÓN COMO INSTRUMENTO DE CONTROL Y REGULACIÓN DE LA ENSEÑANZA DE LA FÍSICA DE SEMICONDUCTORES...	59
1. Introducción.....	61
2. Tendencias actuales en investigación en didáctica de la física.....	62
2.1 <i>La enseñanza de la Física como actividad investigadora</i>	64
2.1.1 La investigación como desarrollo profesional del profesorado de física.....	65
2.2 <i>Conexión entre la teoría y la práctica en la enseñanza de la física</i>	67
2.2.1 La reflexión en la acción en la enseñanza de la física.....	68
3. La investigación-acción como metodología para la integración de la física de semiconductores en la ESO.....	69
3.1 <i>Caracterización de una Investigación-acción</i>	69
3.1.1 El proceso de investigación-acción.....	72
3.1.1.1 Hipótesis de acción.....	75
3.1.2 Tipos de investigación-acción.....	75
3.2 <i>Validación y fiabilidad de una investigación-acción en educación</i>	76
3.2.1 Criterios de validación y fiabilidad en una investigación-acción...	77
4. Referencias bibliográficas.....	79
CAPÍTULO 4: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y OBJETIVOS DE UNA INVESTIGACIÓN DIDÁCTICA EN FÍSICA DE SEMICONDUCTORES.....	83
1. Introducción.....	85
2. Revisión del currículo de física y química de la ESO y perspectivas para la integración de la física de semiconductores.....	85
2.1 <i>La integración de nociones de física de semiconductores en la ESO como innovación didáctica en España</i>	86
3. Planteamiento general del problema y objetivos.....	87
3.1 <i>Planteamiento del problema a investigar</i>	87
3.2 <i>Objetivos generales de la investigación</i>	89
3.2.1 <i>Objetivos específicos</i>	90
4. Referencias bibliográficas	91
CAPÍTULO 5: DISEÑO DE UNA PROPUESTA PARA LA ENSEÑANZA DE NOCIONES DE FÍSICA DE SEMICONDUCTORES EN SECUNDARIA.....	93
1. Introducción.....	97
2. Diseño de un modelo didáctico para la enseñanza de la física de semiconductores en educación secundaria.....	97
2.1 <i>Estructuración del modelo didáctico propuesto</i>	97
2.2 <i>Los módulos didácticos como medio para la enseñanza/aprendizaje de la física de semiconductores</i>	101
2.2.1 Diseño de módulos didácticos constructivistas en forma de programas-guía de actividades.....	102
3. Evaluación del modelo didáctico.....	104
3.1 <i>Momentos de la evaluación en la enseñanza/aprendizaje de la física de semiconductores</i>	106
3.1.1 Evaluación inicial o diagnóstica.....	106
3.1.2 Evaluación formativa/formadora.....	107
3.1.3 Evaluación final o sumativa.....	109
3.2 <i>Autoevaluación y coevaluación</i>	111
4. Concreción del modelo: propuesta fundamentada de módulos didácticos de física de semiconductores.....	111
4.1 <i>Módulo I: "Los materiales semiconductores en el desarrollo de la electrónica"</i>	113
4.2 <i>Módulo II: "Naturaleza y comportamiento eléctrico de la materia"</i>	117

4.3 Módulo III: "Definición y propiedades físicas de los semiconductores".	129
4.4 Módulo IV: "Semiconductores intrínsecos. Generación y recombinación de pares electrón-hueco".....	138
4.5 Módulo V: "Semiconductores extrínsecos. Semiconductores tipo p y n"	148
5. Hipótesis respecto al modelo didáctico propuesto.....	157
6. Referencias bibliográficas.....	159
CAPÍTULO 6: DISEÑO EXPERIMENTAL PARA LA PUESTA EN PRÁCTICA Y EVALUACIÓN DE LOS MÓDULOS DIDÁCTICOS DE FÍSICA DE SEMICONDUCTORES.....	163
1. Introducción.....	167
2. Caracterización de la investigación-acción.....	167
2.1 Muestras.....	168
2.2 Acción en el aula: descripción del proceso de enseñanza/aprendizaje...	169
2.3 Definición de variables.....	170
2.3.1 Variables independientes.....	171
2.3.2 Variables dependientes.....	171
2.3.3 Control de variables intervinientes o extrañas".....	173
3. Validación y fiabilidad de la investigación-acción.....	173
3.1 Criterios establecidos para la calidad de la investigación-acción diseñada.....	174
4. Técnicas e instrumentos de evaluación.....	176
4.1 Diario del profesor-investigador.....	177
4.2 Cuaderno del alumno.....	178
4.3 Prueba objetiva sobre el estado de los conocimientos.....	180
4.3.1 Estrategias de validación y fiabilidad de la prueba objetiva.....	181
4.4 Encuesta sobre el proceso de enseñanza/aprendizaje desarrollado en el aula.....	184
4.4.1 Estrategias de validación y fiabilidad del cuestionario de encuesta	184
4.5 Entrevistas personales a los alumnos.....	185
4.5.1 Estrategias de validación y fiabilidad de las entrevistas personales	186
5. Referencias bibliográficas.....	187
CAPÍTULO 7: RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN Y TEORIZACIÓN SOBRE LA ENSEÑANZA DE NOCIONES DE FÍSICA DE SEMICONDUCTORES EN SECUNDARIA.....	189
1. Introducción.....	193
2. Evaluación del proceso de enseñanza/aprendizaje desarrollado con los módulos didácticos.....	194
2.1 Resultados del proceso de autorregulación del aprendizaje. Análisis de los cuadernos de los alumnos.....	194
2.1.1 Niveles de aprendizaje autoestimados en las actividades del módulo I	194
2.1.2 Niveles de aprendizaje autoestimados en las actividades del módulo II.....	196
2.1.3 Niveles de aprendizaje autoestimados en las actividades del módulo III.....	198
2.1.4 Niveles de aprendizaje autoestimados en las actividades del módulo IV.....	200
2.1.5 Niveles de aprendizaje autoestimados en las actividades del módulo V.....	202
2.2 Evaluación de los conocimientos declarativos y procedimentales.....	205
2.2.1 Resultados de la prueba escrita.....	205

2.2.2 Análisis de entrevistas personales sobre nociones de física de semiconductores.....	212
2.3 <i>Evaluación global del proceso de enseñanza/aprendizaje.....</i>	216
2.3.1 Resultados obtenidos mediante el cuestionario de encuesta.....	216
2.3.2 Análisis de las entrevistas personales.....	222
3. Verificación de las hipótesis de acción y teorización.....	222
3.1 <i>Diseño de los módulos, metodología, clima del aula y actitudes hacia el estudio de la física de semiconductores.....</i>	225
3.2 <i>Fomento de la autorregulación del aprendizaje de nociones de Física de Semiconductores mediante módulos didácticos constructivistas.....</i>	227
3.3 <i>Adaptación de contenidos de Física de Semiconductores al nivel de ESO.....</i>	227
3.4 <i>Evaluación sumativa del proceso de enseñanza/aprendizaje.....</i>	228
4. Perspectivas futuras de investigación.....	231
5. Referencias bibliográficas.....	234
ANEXO I: PRUEBA ESCRITA SOBRE NOCIONES DE FÍSICAS DE SEMICONDUCTORES.....	236
ANEXO II: INVENTARIO DE CORRECCIÓN Y CATEGORIZACIÓN DE RESPUESTAS DE LA PRUEBA ESCRITA SOBRE NOCIONES DE FÍSICA DE SEMICONDUCTORES.....	238
ANEXO III: CUESTIONARIO DE ENCUESTA SOBRE EL PROCESO DE ENSEÑANZA/APRENDIZAJE REALIZADO CON LOS MÓDULOS DIDÁCTICOS DE FÍSICA DE SEMICONDUCTORES.....	242
ANEXO IV: GUIÓN GENERAL EMPLEADO EN LAS ENTREVISTAS PERSONALES A LOS ALUMNOS SOBRE SU EXPERIENCIA CON EL ESTUDIO DE LOS MÓDULOS DIDÁCTICOS DE FÍSICA DE SEMICONDUCTORES.....	244

PRESENTACIÓN

Actualmente, la enseñanza de nociones de Electrónica se inicia en la Educación Secundaria Obligatoria (ESO), dentro del currículo de Tecnología. Su tratamiento didáctico suele plantearse desde una perspectiva funcional, basada en la *aproximación de sistemas electrónicos*, sin que apenas se traten los aspectos científicos que explican el comportamiento microscópico de tales dispositivos. Sin embargo, esto último resulta esencial si tenemos en cuenta que la Electrónica también es una ciencia experimental. En efecto, su gran desarrollo ha venido dado, principalmente, por los avances alcanzados en Física de los Sólidos Semiconductores; una contribución que ha sido reconocida con el Premio Nobel de Física 2000. Por consiguiente, se puede decir que con los semiconductores comienza el estudio propio de la Electrónica Moderna.

Alineados con esta idea, consideramos que una educación básica y adecuada en Electrónica debe incluir contenidos básicos sobre la estructura y el comportamiento físico de los materiales semiconductores. Si bien, observamos que ello aún no ha recibido la atención que merece en los currículos de Ciencias de los niveles no universitarios. Por ello, hace unos años nos planteamos emprender, como innovación didáctica, un proyecto de investigación orientado a impulsar la enseñanza de nociones de Física de Semiconductores en clases de Física y Química de la ESO. Con la enseñanza de estos contenidos pretendemos apoyar y complementar la enseñanza de la Electrónica que se viene planteando en el currículo de Tecnología de la misma etapa educativa.

La finalidad de esta obra es mostrar los resultados más significativos de los primeros pasos del proyecto didáctico, y contribuir, de alguna manera, al auge de nuevas investigaciones en la misma línea, porque aún son escasas en el ámbito de la Didáctica de la Física.

En el *capítulo 1* se destaca la necesidad de una alfabetización científica en Electrónica, desde los niveles básicos de enseñanza, a fin de que la ciudadanía afronte con éxito los retos de una sociedad científica y tecnológicamente avanzada. Se expone la dimensión científica de la Electrónica y, a consecuencia de ello, se dan razones epistemológicas y didácticas que justifican la integración de nociones de Física de Semiconductores en el currículo de Ciencias (Física y Química) de la ESO.

En el *capítulo 2* se define el marco teórico en el que se circunscribe la enseñanza/aprendizaje de nociones de Física de Semiconductores en la ESO. Se hace una revisión de las actuales tendencias en Didáctica de las Ciencias Experimentales, basadas en el *paradigma del constructivismo*. Asimismo, se establecen las pautas didácticas para la integración de la Física de Semiconductores en el actual currículo de Física y Química de la ESO. Se especifican los conocimientos previos, o preliminares, que debe poseer el alumnado, y el modo de enlazar los contenidos de Física de Semiconductores con los de *Estructura de la Materia y Electricidad*, contemplados actualmente en dicho currículo.

En el *capítulo 3* se hace una revisión de las últimas tendencias en investigación didáctica, donde se destaca la enseñanza de la Física como

actividad investigadora, y la *reflexión sobre la práctica* como instrumento eficaz para el autodesarrollo profesional del profesorado. Se analizan las características esenciales de una *investigación-acción* educativa, se revisan los procesos de validación y fiabilidad que tienen lugar en este proceso de investigación, y los criterios específicos que se deben tener en cuenta en su aplicación.

En el *capítulo 4* se plantea el *problema central de la investigación*, el cual se resume en la siguiente pregunta: *¿Es posible diseñar un modelo didáctico, coherente con el paradigma constructivista, que posibilite la integración progresiva de nociones de Física de Semiconductores en el currículo de Física y Química de la ESO?* Con el fin de buscar respuestas al interrogante, se establecen dos objetivos generales de la investigación: 1) Diseñar un modelo didáctico, con enfoque constructivista, orientado a integrar, de un modo racional y progresivo, las nociones básicas de Física de Semiconductores en currículo de Física y Química de la ESO. 2) Evaluar la eficacia educativa del modelo didáctico propuesto en un espacio natural de la práctica docente, mediante el estudio de casos en el marco de una investigación-acción práctica.

En el *capítulo 5* se propone un modelo didáctico, para la enseñanza/aprendizaje de la Física de Semiconductores en la ESO. Se describen sus características esenciales, así como las diferentes fases en que debe desarrollarse en el aula. Como característica fundamental del modelo, se destaca la necesidad de fomentar en los alumnos hábitos de *autorregulación del aprendizaje*, con idea de favorecer la autonomía en su aprendizaje. Se hace especial énfasis en la dimensión pedagógica de la evaluación (inicial, formativa/formadora y sumativa) del proceso de enseñanza/aprendizaje, y más concretamente en la evaluación formativa/formadora. El modelo se concreta en cinco módulos didácticos, con enfoque constructivista, que se desarrollan en forma de *programas-guía de actividades*. Y a partir del modelo didáctico propuesto, se formulan diversas *hipótesis de acción* al respecto. Su formulación coadyuva a la concreción del diseño empírico de la investigación, orientado a evaluar la eficacia del modelo didáctico.

En el *capítulo 6* se describe el procedimiento empírico diseñado para la puesta en práctica y evaluación de los módulos didácticos de Física de Semiconductores. Se detallan los elementos que caracterizaron la *investigación-acción práctica* realizada en el aula: limitaciones con las que se realiza la investigación, características de las muestras de alumnos investigados, y proceso de enseñanza/aprendizaje realizado (acción en el aula). Asimismo, se especifican las estrategias seguidas para la validación y fiabilidad de la investigación-acción, con el fin de garantizar la calidad de la misma. Estas estrategias están basadas en los *criterios de credibilidad, de transferibilidad, de dependencia y de confirmabilidad*, empleados en investigaciones cualitativas. Se indican las técnicas e instrumentos empleados en la evaluación del modelo didáctico (diario del profesor, cuaderno del alumno, prueba escrita de lápiz y papel, cuestionario de encuesta y entrevistas personales) y el modo en que fueron utilizados durante la experiencia. Y se describen las estrategias de validación (de contenido y de constructo) y fiabilidad (estabilidad de resultados y

consistencia interna) de los instrumentos, así como los inventarios de corrección empleados en la evaluación de la prueba escrita.

En el *capítulo 7* se exponen los resultados, las conclusiones obtenidas y las perspectivas que se crean con vistas a plantear investigaciones futuras en la línea planteada. Así, se describen los resultados de la evaluación del proceso de enseñanza/aprendizaje, llevado a cabo con los módulos didácticos en dos ocasiones. A partir de los resultados de la evaluación, se comprueba la veracidad de las distintas hipótesis de acción, y como conclusión de este proceso se elabora la *teorización* del proceso educativo desarrollado con los módulos didácticos.

Nota: Al final de cada capítulo se indica la bibliográfica consultada, si bien, a lo largo del texto sólo incluimos aquellas citas bibliográficas que estimamos imprescindibles, a fin de hacer más cómoda la lectura del mismo.

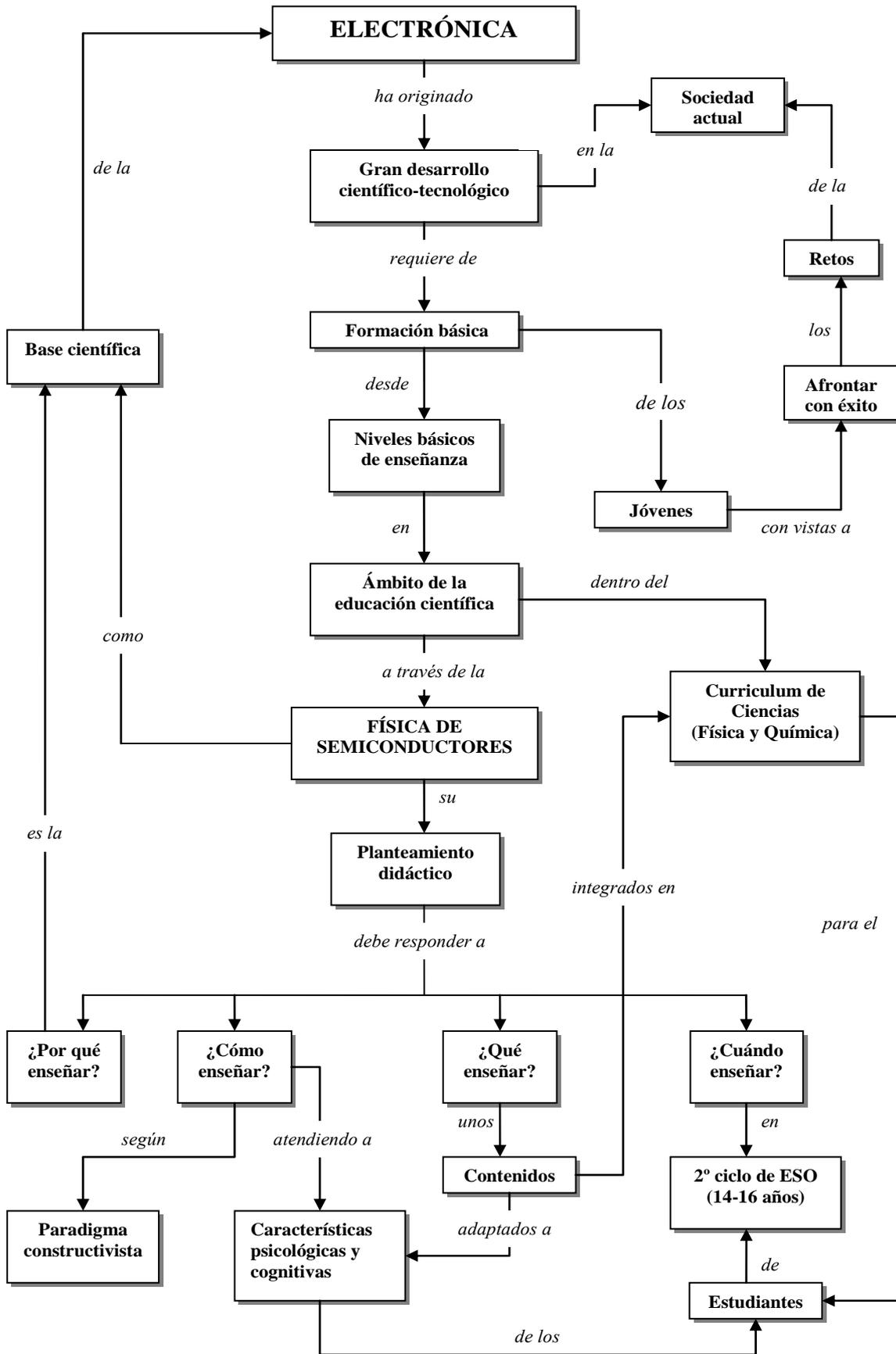
CAPÍTULO 1: RAZONES DIDÁCTICAS Y EPISTEMOLÓGICAS QUE APOYAN LA INTRODUCCIÓN DE NOCIONES DE FÍSICA DE SEMICONDUCTORES EN SECUNDARIA

Resumen

Se destaca la necesidad educativa de proporcionar a los jóvenes una educación básica e integral en Electrónica, desde los niveles básicos de enseñanza, con vistas a que afronten con éxito los retos de una sociedad científica y tecnológicamente avanzada. Exponemos la dimensión científica de la Electrónica y, a consecuencia de ello, damos razones epistemológicas y didácticas que justifican su integración en el currículo de Ciencias (Física y Química) de la Educación Secundaria Obligatoria (ESO). Como propuesta de integración, apoyamos la enseñanza de nociones de Física de Semiconductores, porque es la que ofrece los fundamentos de la Electrónica, al mismo tiempo que sirve de complemento en el estudio de los contenidos introducidos en el actual currículo de Tecnología. Al respecto, analizamos algunas de las razones por las que aún no se ha dedicado a la Electrónica la atención que merece en los currículos de Ciencias de los niveles básicos. Por último, con el propósito de argumentar la integración de contenidos de Física de Semiconductores en la ESO, damos respuesta a los interrogantes *¿Por qué?*, *¿Cómo?*, *¿Qué?* y *¿Cuándo?* enseñar Física de Semiconductores en esta etapa educativa.

Esquema/Sumario

1. Introducción
2. Necesidad de una formación en electrónica básica desde el ámbito de la educación científica
3. Situación actual de la electrónica en el currículo de ciencias de la educación secundaria obligatoria
 - 3.1. Razones de la insuficiente atención a la Electrónica Física en el currículo de Ciencias de la Educación Secundaria Obligatoria
4. La física de semiconductores como marco de interrelación física-electrónica en la educación científica básica
 - 4.1. ¿Por qué enseñar Física de Semiconductores?
 - 4.2. ¿Qué enseñar Física de Semiconductores?
 - 4.3. ¿Cómo enseñar Física de Semiconductores?
 - 4.4. ¿Cuándo enseñar Física de Semiconductores?
5. Conclusiones y perspectivas
6. Referencias bibliográficas



1. Introducción

La principal meta de la Educación es proporcionar a los jóvenes una formación básica e integral, coherente con las necesidades y los retos de una sociedad en permanente evolución. Una formación de estas características abarca tanto aspectos humanísticos como matemáticos, científicos y tecnológicos, que han de ser introducidos, de un modo racional y progresivo, desde los niveles básicos de enseñanza. En lo que a la Ciencia y la Tecnología se refiere, su enseñanza se debe plantear haciendo especial énfasis en la dimensión humanística y cultural que presentan; una cuestión que, sin duda, resulta esencial para comprender muchos de los aspectos del mundo en el que vivimos.

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

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

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

Sin embargo, aun cuando existen razones didácticas y epistemológicas, el currículo de Ciencias (Física y Química) de la Educación Secundaria no establece el estudio de contenidos de Electrónica. Por este motivo, surge la idea de iniciar proyectos educativos que pongan de manifiesto la necesidad, por un lado, y la viabilidad, por otro, de integrar el estudio de nociones de Electrónica Física en el currículo de Ciencias.

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

2. Necesidad de una formación en electrónica básica desde el ámbito de la educación científica

Los profundos cambios socioculturales de las dos últimas décadas, provocados por el importante desarrollo de la Electrónica, han dado lugar a que ésta se considere un elemento indispensable en la formación básica de todas las personas; y a que se reclame, por tanto, un lugar destacado en los currículos escolares desde los niveles básicos de la educación.

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

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

Desde un punto de vista epistemológico, se puede decir que con los semiconductores comienza el estudio propio de la Electrónica. Además, la atención a la Electrónica desde el ámbito de la Educación Científica es un requisito indispensable para formar en los alumnos una imagen más correcta del desarrollo científico actual; en particular, una visión de la unidad que constituyen la Física y la Electrónica, que ha dado lugar a la *Electrónica Física*. Desde el ámbito de la didáctica, esta visión integral de la Electrónica tiene una repercusión directa en la calidad de su enseñanza/aprendizaje. Algunos investigadores (Maiztegui *et al*, 2002) opinan, al respecto, que la conexión del conocimiento científico escolar con los conocimientos y experiencias científico-tecnológicas más relevantes de la vida cotidiana –como es el contacto continuo con aparatos electrónicos

(microordenador, calculadoras, teléfonos móviles, videoconsolas,...)- contribuye a que dicho conocimiento sea más significativo, con vistas a ser utilizado en distintas situaciones. Así, el aprendizaje de la Física adquiere mayor sentido y relevancia para el alumnado.

3. Situación actual de la electrónica en el currículo de ciencias de educación secundaria

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

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

A la vista de lo anterior, cabe preguntarse: ¿por qué esa falta de atención a la Electrónica en la Educación Científica de los niveles básicos de enseñanza?. Reflexionar sobre la cuestión es un ejercicio especialmente importante, habida cuenta que no deja de ser algo sorprendente que, en nuestra época, exista un escaso interés hacia la Electrónica –y la Tecnología en general– por parte de los diseñadores de currículos de Ciencias e investigadores en Didáctica de las Ciencias. Aun cuando la respuesta a la pregunta planteada es compleja, pues se encuentran múltiples causas, vamos a enumerar algunas que parecen esenciales.

3.1. Razones de la insuficiente atención a la Electrónica Física en el currículo de Ciencias de la Educación Secundaria

Existen diversos factores que hacen que, actualmente, la atención a la dimensión tecnológica, y de la Electrónica en particular, sea insuficiente en la Educación Científica de los niveles básicos de enseñanza, en nuestro país. Uno de los factores es el ritmo con que se actualizan los diseños curriculares de Ciencias, que no evolucionan en sintonía con los avances científico-tecnológicos del momento, y mantienen un anquilosamiento académico propio de hace varias décadas. En efecto, hasta hace tan sólo unas décadas, la implicación de la Tecnología en la situación global del mundo, en la actividad científica y en la vida del ciudadano común, era

mucho menos notable que en la actualidad. Pensemos, por ejemplo, en lo que ha significado para la sociedad, la Ciencia y la Cultura en general, los avances tecnológicos obtenidos durante las pasadas dos décadas en el campo de la Informática y de las Comunicaciones. Encontramos, pues, que los proyectos curriculares de Ciencias se encuentran anclados en el tiempo y aún no han asumido el reto y la necesidad de afianzar contenidos que, hoy día, son parte intrínseca de la sociedad en que vivimos; contenidos como son los relacionados con la Electrónica, que deben formar parte de la formación básica e integral de los jóvenes actuales.

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

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

4. La física de semiconductores como marco de interrelación física-electrónica en la educación científica básica

4.1. ¿Por qué enseñar Física de Semiconductores?

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

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

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

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

4.2. ¿Qué enseñar de Física de Semiconductores?

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

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

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

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

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

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

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

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

4.3. ¿Cómo enseñar Física de Semiconductores?

Teniendo presente lo que acabamos de decir en el interrogante anterior, la enseñanza de la Física de Semiconductores no se debe concebir como una «ciencia aplicada», orientada, exclusivamente, a explicar el funcionamiento de ciertos dispositivos electrónicos mediante determinados principios o conceptos científicos. Hay que tener en cuenta que los dispositivos electrónicos, en su creación y desarrollo, siguen diversos y complicados caminos; con lo cual, constituyen sistemas complejos formados por una gran diversidad de elementos. Así, algunos de estos elementos se crean con las aportaciones de la Física de Semiconductores, según la aplicación de conceptos y teorías científicas del comportamiento de los sólidos semiconductores; otros se desarrollan mediante la experimentación, sin tener en cuenta teorías o principios científicos. De modo que el papel de la enseñanza de la Física de Semiconductores no será el de examinar el funcionamiento de los dispositivos, sino el de ilustrar los principios y conceptos científicos que se manifiestan en los materiales semiconductores. Asimismo, para llevar a cabo su planteamiento en el aula, se tendrán en cuenta las tendencias actuales en Didáctica de las Ciencias, que establecen el constructivismo como modelo de enseñanza/aprendizaje más apropiado. En este marco, se adaptarán los contenidos a las características psicológicas y cognitivas de los alumnos de Secundaria, y se establecerán las pautas metodológicas más apropiadas, en coherencia con lo establecido en el currículo de Física y Química de la etapa.

En cuanto a los procedimientos y actitudes, se establecerán de manera similar al resto de contenidos de Física y Química para esta etapa educativa. Como *procedimientos*, los alumnos han de establecer hipótesis respecto al comportamiento eléctrico de los materiales semiconductores; emplear modelos para explicar los fenómenos eléctricos y la estructura interna de estos materiales; realizar diagramas conceptuales como síntesis y estructuración de los conceptos estudiados; consultar fuentes bibliográficas y elaborar informes sobre los trabajos realizados. Es decir, la realización de tareas propias de la metodología científica, adaptada convenientemente al ámbito escolar.

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

Por último, y con el fin de reforzar la enseñanza de nociones de Física de Semiconductores, será necesario establecer una adecuada coordinación con el Área de Tecnología de Secundaria. Actualmente, en el currículo de Tecnología establece el estudio de contenidos de Electrónica a partir del 2º

ciclo de ESO (14-16 años). En el tercer curso (14-15 años), dentro del bloque *Electricidad y Electrónica*, se establece el estudio y montaje de circuitos electrónicos con diodos, así como de algunos circuitos integrados básicos. Esto permitirá a los alumnos comprobar, por ejemplo, el comportamiento de un diodo semiconductor de unión *pn* (dispositivo electrónico más elemental) en circuitos sencillos, y explicar este comportamiento a partir de los conceptos físicos estudiados. En cuarto curso (15-16 años), dentro del mismo bloque temático, se incluye el estudio de las técnicas básicas de fabricación de circuitos electrónicos, así como la fabricación de circuitos integrados a partir de materiales semiconductores. En este contexto, se hará alusión, por ejemplo, a la *técnica plana epitaxial* utilizada en la fabricación de diodos semiconductores. De esta forma, se expone la componente tecnológica de los materiales semiconductores; lo cual supone un apoyo importante a fin de reforzar el aprendizaje de los conceptos teóricos de Física Básica de Semiconductores.

4.4. ¿Cuándo enseñar Física de Semiconductores?

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

5. Conclusiones y perspectivas

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

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

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

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

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

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

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

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

6. Referencias bibliográficas

- Acevedo, J.A. *et al* (2002). Persistencia de las actitudes y creencias CTS en la profesión docente. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 1(1). En: <http://www.saum.uvigo.es/reec>.
- Adúriz-Bravo, A. (2001). *Integración de la epistemología en la formación del profesorado de Ciencias*. Tesis Doctoral. Bellaterra: Universidad Autónoma de Barcelona.
- Adúriz-Bravo, A. e Izquierdo, M. (2002). Acerca de la Didáctica de las Ciencias como disciplina autónoma. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 1(3). En: <http://www.saum.uvigo.es/reec>.
- Alanís, A. (2000). El niño y la Ciencia: el contacto necesario con el entorno sociocultural. *Contexto Educativo*, 14. En: <http://www.contexto-educativo.com.ar/2000/nota-05.htm>.
- Alcalde, P. (1999). *Principios Fundamentales de Electrónica* (3ª Ed.). Madrid: Paraninfo.
- Ayensa, J.M. (2001). *Instrumentos de regulación y modelo de evaluación en el aula de Física*. Tesis Doctoral. Madrid: UNED.
- Bevis, G. (1985). Ban Electronics from school physics. *Physics Education*, 20, 109-110.
- Bybee, R. (2000). Achieving technological literacy: a national imperative. *The Technology Teacher*, septiembre de 2000, 23-28.
- Cabral, I. (2001). Alfabetismo científico y educación. *Contexto Educativo*, 18. En: <http://www.contexto-educativo.com.ar/2001/4/nota-01.htm>.
- Castellano, H.M. (2000). El sentido de la alfabetización tecnológica. *Contexto Educativo*, 11. En: <http://www.contexto-educativo.com.ar/2000/4/nota-09.htm>.
- Del Carmen, L. (2001). Los materiales de desarrollo curricular: un cambio imprescindible. *Investigación en la Escuela*, 40, pp. 51-56.
- Fernández, I. *et al* (2003). El olvido de la Tecnología como refuerzo de las visiones deformadas de la Ciencia. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 2(3). En: <http://www.saum.uvigo.es/reec>.
- Foxcroft, G.E. (1972). Electronics in the Nuffield Advanced Physics Course. *Physics Education*, 7(1), pp. 14-20.
- García Carmona, A. (2003). Integración de las relaciones CTS en la Educación Científica. *Perspectiva CEP*, 6, pp. 109-121.
- García Carmona, A. (2004a). Física... ¿para qué?. *Revista Española de Física*, 18(3), pp. 11-13.
- García Carmona, A. (2004b). Desarrollo de valores y actitudes en el laboratorio de Física y Química. *Contexto Educativo*, 32. En: <http://contexto-educativo.com.ar/2004/3/nota-08.htm>.
- Gil, D. *et al* (1991). *La Enseñanza de las Ciencias en Educación Secundaria*. Barcelona: ICE Universidad de Barcelona / Horsori.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Rosado, L. y García Carmona, A. (2004c). Concepciones y dificultades de aprendizaje de alumnos de Secundaria sobre el comportamiento eléctrico de los semiconductores y otros materiales. Actas de los XXI Encuentros de Didáctica de las Ciencias Experimentales (San Sebastián, España), pp. 273-280.

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

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

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

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

CAPÍTULO 2: ESTRATEGIAS PARA LA ENSEÑANZA DE LA FÍSICA DE SEMICONDUCTORES EN UN MARCO CONSTRUCTIVISTA

Resumen

En este capítulo, se define el marco didáctico en el que se ha de circunscribir la enseñanza de la Física de Semiconductores en la etapa de la ESO. En la primera parte del capítulo, se hace una revisión de las actuales tendencias en Didáctica de la Física. Se describen los aspectos fundamentales de la educación científica en los niveles básicos de enseñanza. Se destaca el planteamiento de la enseñanza de las Ciencias en conexión con el entorno cotidiano del alumno (relaciones CTS), y en consonancia con el contexto y clima del aula. Se hace alusión a la epistemología de la Ciencia como elemento vertebrador de los diseños curriculares en Física, y se analiza su influencia en la metodología de enseñanza, a través de las diferentes metodologías empleadas en la educación científica durante las últimas décadas. Finalmente, se describen las directrices generales del *paradigma constructivista* como pilar fundamental de la Didáctica de las Ciencias Experimentales en la actualidad.

En la segunda parte del capítulo, establecemos las pautas encaminadas a integrar la Física de Semiconductores en el actual currículo de Ciencias (Física y Química) de la ESO. Detallamos el tratamiento científico-didáctico que proponemos para enseñar Física de Semiconductores en la ESO. Y, por último, especificamos los conocimientos previos, o preliminares, que ha de poseer el alumnado, y el modo de enlazar los conceptos de Física de Semiconductores con los de Estructura de la Materia y Electricidad, del actual currículo de Física y Química.

Esquema/Sumario

1. Introducción
2. Aproximación al conocimiento científico en los niveles básicos de enseñanza
 - 2.1. Integración del conocimiento científico en el contexto del aula
 - 2.2. Influencia del entorno en la enseñanza/aprendizaje de la física
 - 2.2.1. Las relaciones ciencia-medio en el currículo de física en la ESO
 - 2.2.2. El clima del aula
 - 2.3. Aportaciones de la epistemología en los diseños curriculares en física
 - 2.3.1. Influencia de la concepción epistemológica de la ciencia en la metodología de enseñanza
 - 2.4. El modelo constructivista en la enseñanza/aprendizaje de la física

3. Enseñanza de la física de semiconductores en un marco constructivista

3.1. Estrategias para la integración de la física de semiconductores en el currículo de ciencias (física y química) de la ESO

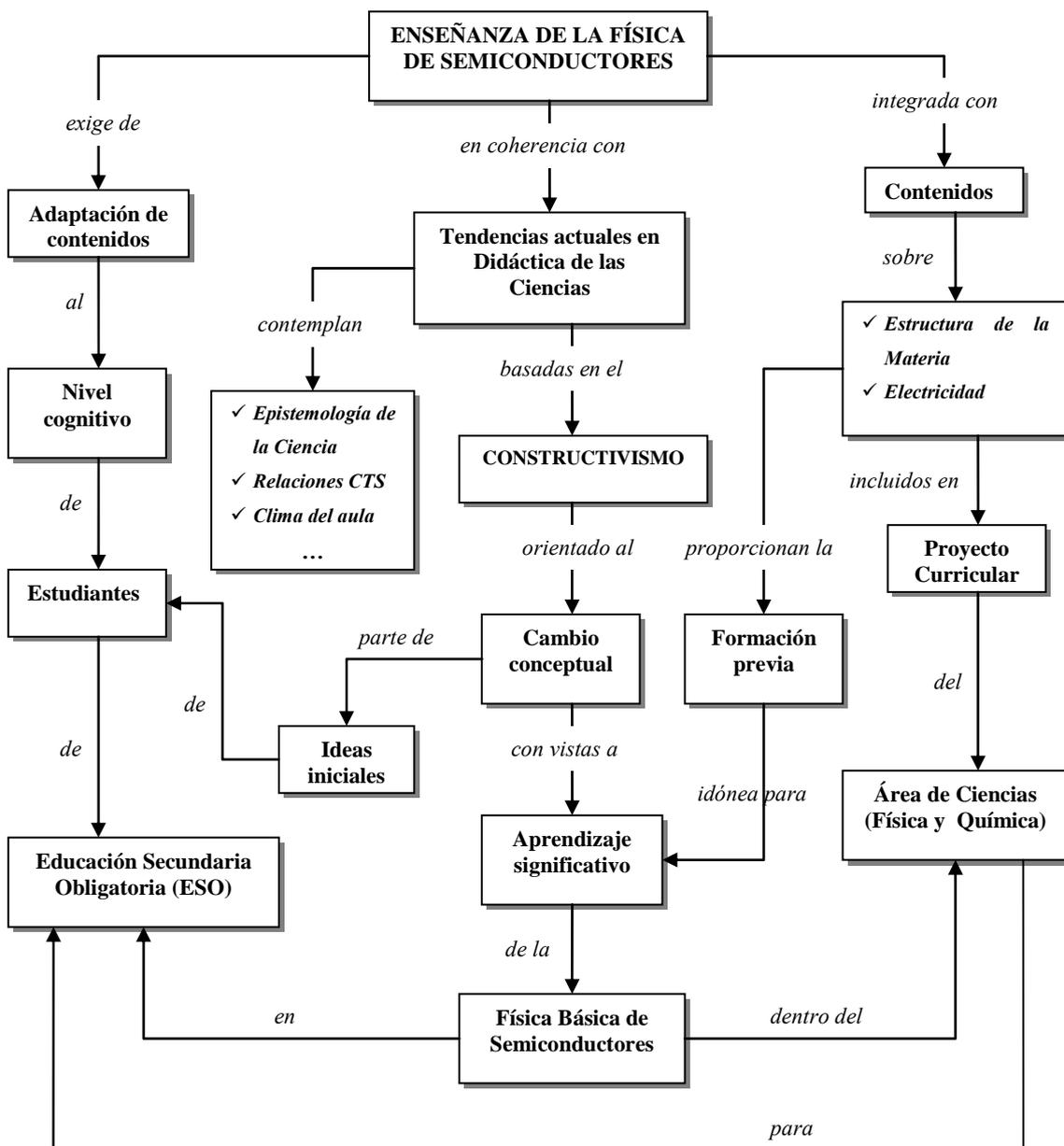
3.2. Tratamiento científico-didáctico de la física de semiconductores en la ESO

3.2.1. Conceptos preliminares

3.2.2. Conceptos básicos de física de semiconductores

3.2.3. Relaciones CTS en la enseñanza de la física de semiconductores

4. Referencias bibliográficas



1. Introducción

En el primer capítulo hemos expuesto diferentes argumentos que justifican la introducción de las nociones elementales de Física de Semiconductores en la educación científica básica. El propósito de este capítulo es establecer el marco didáctico en el que se ha de circunscribir la enseñanza de la Física de Semiconductores en la etapa de la ESO. Para ello, tomamos como directrices las actuales tendencias en Didáctica de la Física y de materias afines (Rosado y Ayensa, 1999; Perales y Cañal, 2000).

En la primera parte del capítulo, describimos los aspectos fundamentales que deben ser tenidos en cuenta a la hora de plantear la enseñanza de las Ciencias en los niveles básicos de enseñanza. Entre los cuales, destacamos el planteamiento de la enseñanza de las Ciencias en conexión con el entorno cotidiano del alumnado, teniendo presente las diferencias existentes entre la comunidad científica y la comunidad del aula (Reif y Larkin, 1991). En este sentido, indicamos la necesidad, por un lado, de adaptar el proceso educativo al contexto y el clima del aula, y, por otro, de establecer las directrices que permitan vincular la enseñanza con el entorno social del alumnado, con la intención de desarrollar la educación científica desde una perspectiva que contemple las relaciones Ciencia-Tecnología-Sociedad (CTS).

Hacemos alusión, también, a la epistemología de las Ciencias como elemento vertebrador de los diseños curriculares en Física, y describimos su influencia en la metodología de enseñanza, a través del análisis de las diferentes metodologías empleadas en la educación científica durante las últimas décadas. Seguidamente, nos centramos en describir las directrices generales del *paradigma constructivista*, cuyo cuerpo sienta las bases esenciales sobre las que se sustenta la Didáctica de las Ciencias Experimentales en la actualidad.

En la segunda parte del capítulo, concretamos todo lo anterior con objeto de establecer el marco curricular en que se desarrollará la enseñanza de la Física de Semiconductores en el nivel de ESO. Desde la perspectiva del constructivismo, describimos una serie de pautas orientadas a enlazar los contenidos de Física de Semiconductores con los de *Estructura de la Materia* y *Electricidad*, establecidos en el actual currículo de Ciencias (Física y Química). Asimismo, detallamos el tratamiento científico-didáctico que proponemos para la enseñanza de la Física de Semiconductores en la ESO. Para ello, especificamos los conceptos previos, o preliminares, que debe poseer el alumnado al afrontar el aprendizaje, así como el modo de entroncar los nuevos conceptos con los ya establecidos en el actual currículo de Física y Química.

2. Aproximación al conocimiento científico en los niveles básicos de enseñanza

Uno de los principales problemas de la educación científica está originado por la confrontación entre el conocimiento intuitivo del alumnado y el conocimiento científico, que tiene lugar durante el proceso de enseñanza/aprendizaje. Esto sucede, según las investigaciones en psicología del pensamiento (Pozo, 1997), porque el razonamiento científico

no es la forma natural con la que las personas afrontan sus problemas cotidianos. En este sentido, Hodson (1994) sostiene que los alumnos y alumnas, además de aprender Ciencia, deben aprender a hacer Ciencia y aprender sobre Ciencia; con lo cual, la premisa esencial de la enseñanza de las Ciencias ha de ser la de curtir al alumnado de un constructo mental, coherente con el método científico, que le permita lograr un *aprendizaje significativo* de los conceptos. En tal sentido, el proceso de enseñanza/aprendizaje será efectivo en la medida en que provoca el *cambio conceptual*, a partir del cual el estudiante incorpora a su estructura cognitiva los nuevos conocimientos científicos. Por tanto, más que el aprendizaje de conceptos, será necesario canalizar las estrategias educativas hacia el desarrollo de unas actitudes, destrezas y habilidades, propias del quehacer científico, con el fin de que los alumnos y alumnas adquieran las bases cognitivas idóneas para el aprendizaje de nuevos conceptos.

Pero, como ya mencionamos en el capítulo 1, el cambio conceptual no es tarea fácil en la educación científica. En efecto, existe una resistencia al cambio de las estructuras cognitivas construidas por los alumnos, como consecuencia de sus interacciones con el entorno. Algunos autores (Caravita y Halldén, 1994) abogan, a este respecto, por la *independencia* entre ambas formas de conocimiento, y señalan que ambos serán adecuados en función de los contextos y las metas que se deseen alcanzar; de manera que no se trata de sustituir uno por otro, sino de hacerlos coexistir y aprender a activarlos de forma adecuada según el contexto. Aprender Ciencia consistirá, por tanto, en adquirir cuerpos de conocimiento y formas de razonamiento útiles sólo para ese ámbito del saber, por lo que no serán ni mejores ni peores que las formas de conocimiento cotidiano. Desde esta perspectiva, en lugar de que el alumnado abandone su estructura intuitiva para asumir los modelos de la Ciencia, se trata de que logre distinguir entre ambos modelos o interpretaciones y aprenda a usarlos diferenciadamente de acuerdo con cada situación y/o contexto.

2.1. Integración del conocimiento científico en el contexto del aula

A la hora de plantear la enseñanza/aprendizaje de la Física, en los niveles básicos de enseñanza, se ha de tener presente la existencia de ciertos límites entre el entorno del aula y la comunidad científica (Martín-Moreno, 1996: 244):

a) *La existencia de una figura jerárquica en la comunidad del aula.* En la comunidad científica se confrontan las ideas en un plano de igualdad cognitiva, mientras que en el aula existe una persona situada a diferente nivel: el profesor como responsable del aprendizaje de sus alumnos y alumnas (constituye el punto de contacto entre la comunidad del aula y la comunidad científica).

b) *Los criterios de inclusión.* Los integrantes de la comunidad científica han pasado un competitivo proceso de selección para ser incluidos en ésta (*comunidad exclusiva*), lo que no ocurre en el caso del aula (*comunidad inclusiva*).

Esas diferencias, entre ambos entornos (el docente y el científico), hacen que el uso de los productos de la comunidad científica, como base para el currículo escolar, sea un tanto problemático. En consecuencia, lo que se ha de intentar en la educación científica básica es que los contenidos que aprendan los alumnos sean una *versión aproximada* de los productos de la comunidad científica. El tratamiento profundo y estrictamente formal de los contenidos científicos debe corresponder a los expertos en la materia.

Por otra parte, indicamos que los alumnos aprenden construyendo el conocimiento dentro de una comunidad que comparte una cultura común; esto es, aprenden en una determinada comunidad de aprendizaje. En efecto, algunas investigaciones (George y Glasgow, 1989, cit. en Martín-Moreno, 1996: 246) han puesto de manifiesto cómo los factores culturales externos al Centro educativo desempeñan un papel importante en el desarrollo de los conceptos en la enseñanza de las Ciencias. Consecuentemente, a la hora de plantear como objetivo de su enseñanza que los alumnos logren una mayor comprensión del mundo, se ha de determinar si se refieren: 1) *a su mundo* (el mundo inmediato del alumno), 2) *a nuestro mundo* (el de nuestra sociedad particular) y 3) *al mundo* (estimular a cada estudiante para que tenga en cuenta múltiples perspectivas). Por lo tanto, la enseñanza de las Ciencias, en un medio culturalmente diverso, ha de tomar en consideración las tres interpretaciones anteriores.

Dada la importancia del entorno del alumnado en el aprendizaje de las Ciencias, hemos de plantear su enseñanza atendiendo a los siguientes aspectos (Hodson, 1991):

1. Adoptar las experiencias de aprendizaje culturalmente próximas al alumnado, teniendo en cuenta las diferencias de creencias, hábitos y estilos de interacción.

2. Seleccionar contenidos que reconozcan y utilicen el conocimiento culturalmente determinado, las creencias y las experiencias de los alumnos (situar la Ciencia en un *contexto humano*, utilizando ejemplos relevantes para todos los grupos culturales).

3. Adaptar el uso del lenguaje científico al contexto del aula, con el fin de evitar problemas de aprendizaje derivados de las dificultades lingüísticas.

La enseñanza de las Ciencias, por consiguiente, plantea la necesidad de incorporar los resultados específicos de las investigaciones sobre los distintos contextos educativos. De este modo, se ha de hacer especial énfasis en el análisis de las características del entorno educativo, a fin de establecer la necesaria *contextualización del proceso de enseñanza/aprendizaje*. Esto ha de ir acompañado de una «negociación» profesor-alumnado, con el propósito de establecer un conjunto de actividades que formen un programa de trabajo que convenga a las necesidades, intereses y aptitudes de los alumnos. Esto es, que propicie una organización escolar que posibilite el desarrollo del *currículo de Ciencias a la carta*.

2.2. Influencia del entorno en la enseñanza/aprendizaje de la física

Es frecuente, entre el profesorado, la idea de que la educación científica ha de estar enfocada a unas metas fijas, inmutables, consistentes en la transmisión del saber científico establecido, y, por tanto, ajenas a los cambios sociales. Como consecuencia de ello, la enseñanza de la Física suele restringirse a la introducción de contenidos conceptuales y algunos procedimentales, sin incidir en los aspectos socioeconómicos, políticos y culturales del entorno, que caracterizan el desarrollo científico; es lo que algunos autores (p.e. Martín, Gómez y Gutiérrez, 2000) denominan *currículo oculto*.

La actividad científica, como cualquier actividad humana, no transcurre al margen de la sociedad en la que se desarrolla, sino que se ve afectada por los problemas y las circunstancias de cada momento, de la misma manera que su acción influye en el medio físico y social en el que se enmarca. Para Einstein (cit. en Solís y García Torres, 1997: 56),

La Ciencia, como algo existente y completo, es la cosa más objetiva que puede conocer el hombre. Pero la Ciencia en su construcción, la Ciencia como un fin que debe ser perseguido, es algo tan subjetivo y condicionado psicológicamente como cualquier otro aspecto del esfuerzo humano; de modo que la pregunta "¿cuál es el objetivo y el significado de la Ciencia?" recibe respuestas muy diferentes, según las distintas épocas y de acuerdo con la evolución social.

En consecuencia, la inclusión de los aspectos sociales, políticos y culturales del entorno, en la enseñanza/aprendizaje de la Física, más allá de suponer una desviación del conocimiento científico, constituye una profundización en la problemática asociada a su construcción.

Esta nueva filosofía científica ha generado, desde hace varias décadas, un movimiento innovador en el currículo de Ciencias, donde, sin renunciar a los aspectos estrictamente científicos, se centra la atención en los aspectos sociológicos externos a la misma, tanto en su dimensión tecnológica como social, política y cultural. A este enfoque se le conoce como Ciencia-Tecnología-Sociedad (CTS).

La enseñanza de la Física, bajo un enfoque CTS, tiene por objeto desarrollar en los alumnos una conciencia y, sobre todo, una capacidad idónea para evaluar las consecuencias, a corto y largo plazo, de las acciones científico-tecnológicas, tanto en el ámbito natural como social. Desde esa perspectiva, el enfoque CTS hace posible superar el carácter neutral que suele atribuirse a la Física, como un cúmulo de conocimientos aséptico, objetivo e imparcial, que ignora los graves conflictos históricos y su papel dinamizador del desarrollo científico.

2.1.1. Las relaciones Ciencia-medio en el currículo de Física en la ESO

A la luz de los argumentos que acabamos de exponer, existen tres razones que ponen de manifiesto la necesidad de plantear la enseñanza/aprendizaje de la Física en conexión con el entorno cotidiano del alumnado (Rosado y García Carmona, 2004a):

➤ La primera, porque una de las principales finalidades de la ESO es la formación de ciudadanos responsables, con espíritu crítico, inmersos en una Sociedad dominada por la Ciencia y la Tecnología. Por tanto, las relaciones de la Física y su entorno se han de abordar con el fin de que los alumnos adopten una actitud crítica y responsable en aquellas cuestiones relacionadas con el desarrollo científico-tecnológico, así como de las consecuencias que de éste se derivan.

➤ La segunda razón responde a que el aprendizaje de la Física requiere de una metodología que diluya la separación entre el mundo de la Física – desde un punto de vista puramente académico–, que se presenta como algo «virtual», y el mundo «real», debido a que los alumnos suelen establecer una frontera entre lo que se estudia y la vida cotidiana. Por tanto, las actividades se han de plantear dentro del contexto en que ellos se desenvuelven.

➤ Por último, la tercera razón viene impuesta por la necesidad de una integración de la enseñanza de la Física con los problemas del medio en que viven los alumnos; lo cual crea una actitud positiva en estos, que contribuye en su propia formación.

A la hora de organizar los contenidos del currículo de Física, bajo el enfoque Ciencia-medio, se deben tener en cuenta los aspectos siguientes (Bybee, 1987, cit. en Solís y García Torres, 1997: 118):

✓ Conocimiento científico y tecnológico relacionado a través del énfasis puesto en asuntos personales, intereses cívicos y perspectivas culturales.

✓ Utilización de habilidades de investigación por medio de la participación activa en la búsqueda de información, resolución de problemas y toma de decisiones.

✓ Desarrollo de valores e ideas acerca de la Física y la Tecnología en la Sociedad, a partir del estudio de controversias sociales en torno a la Tecnología, proyectos públicos y problemas globales.

En general, el desarrollo de proyectos con enfoque Ciencia-medio en la enseñanza de la Física, en el nivel de ESO, ha de plantear los siguientes objetivos (Obach, 1995):

▪ Mostrar al alumnado que el trabajo científico y sus consecuencias están presentes en muchos aspectos de la vida cotidiana.

▪ Establecer relaciones entre las aplicaciones a la vida cotidiana de la Tecnología y las bases científicas que hacen posible el desarrollo tecnológico.

▪ Incrementar el interés por el trabajo de los científicos, mostrando la relación directa de la Física con otras disciplinas (Cultura, Economía, Historia,...).

▪ Valorar las contribuciones de la Física al desarrollo tecnológico y el bienestar de la sociedad.

▪ Favorecer el espíritu crítico mediante el estudio del impacto negativo, que origina el desarrollo científico y tecnológico en la Humanidad.

- Favorecer el desarrollo integral de los alumnos y alumnas a través de la discusión ordenada y argumentada sobre temas de interés social, derivados del desarrollo científico-tecnológico; y aprender a valorar y respetar las opiniones opuestas.

Las interacciones Ciencia-medio han de estar integradas con los contenidos estrictamente científicos, sin renunciar a la construcción de cuerpos coherentes de conocimientos, ya que, de no ser así, no tendría sentido hablar de Ciencia. Este planeamiento del currículo resulta altamente valorado por el alumnado, puesto que adquieren una visión amplia y real del trabajo científico.

En la actualidad, aun cuando existe la necesidad de abordar la enseñanza de la Física desde una perspectiva CTS, continúa existiendo un desajuste entre la Física que se enseña en las aulas y las exigencias de los alumnos como ciudadanos. La presencia real de las interacciones de la Física con el entorno, tanto en el aula como en los libros de texto, es escasa. Su tratamiento se limita a la introducción de algunas lecturas al final de cada unidad sobre temas científicos de actualidad. El tratamiento, no sólo no consigue la integración de los contenidos de Física con los aspectos sociológicos, sino que acentúa más aún la frontera entre una «Física académica» y la Física que ha de enmarcarse en la realidad social en la que se desarrolla.

2.1.2. El clima del aula

Otro aspecto importante a considerar, en la Educación, es el modo en que influye el clima del aula en el proceso de enseñanza/aprendizaje. Su análisis debe propiciar el desarrollo de acciones innovadoras encaminadas a aumentar la *eficacia escolar* (Gil *et al*, 1991); esto es, se trata de conocer qué factores, relacionados con el ambiente del aula favorecen el aprendizaje (hay que incluirlos), y cuáles son perjudiciales (hay que eliminarlos). En la medida en que las estrategias educativas se vinculan a las características del contexto del aula, mayores posibilidades se tienen de alcanzar la eficacia escolar.

De acuerdo con Rivas (1986, cit. en Ayensa, 2001: 68-71), la eficacia escolar, derivada del clima del aula, se concreta en los siguientes aspectos:

- Influencia de las *expectativas del profesorado sobre el rendimiento del alumnado*. Cuando el profesorado transmite la sensación positiva de que todos los alumnos y alumnas pueden mejorar su rendimiento, la *retroalimentación* es positiva, puesto que estos perciben la posibilidad de mejorar y aumentan su autoestima.

- El *ambiente ordenado de disciplina compartida*. Indica que el alumnado ha de implicarse en tareas de interés para todos. Se trata de mantener la disciplina de los escolares, en el sentido de acordar su implicación en tareas en las que se sientan responsables, y valoren de forma positiva su trabajo, percibiendo que la comunidad a la que pertenece reconoce su labor.

- *Equilibrio entre el trabajo individual y el trabajo en grupo*. Por un lado, el trabajo en grupo facilita las interacciones alumno-alumno; y, por otro, el trabajo individual favorece el enfrentamiento del alumno ante situaciones

problemáticas, produciendo una desestabilización de la estructura mental previa, como condición fundamental para el cambio conceptual.

- *Existencia de un clima no amenazante.* Facilitar la participación del alumnado, con el fin de que exprese sus ideas sin coacción intelectual y sin miedo a ser ridiculizados. Ello requiere, tanto por parte del profesorado como del alumnado, que exista una actitud abierta, dialogante y respetuosa con las ideas de los demás.

- *Adecuación de las tareas a los progresos de los alumnos.* El profesorado debe programar las actividades de los alumnos de forma escalonada, de manera que no se pase a etapas de mayor complejidad mientras no se dominen los procedimientos más simples. De este modo, el alumnado adquiere cierta seguridad a la hora de enfrentarse con las actividades que se le proponen.

- *Proporcionar información al alumnado, de manera continua, sobre su progreso.* Se hace necesario un proceso continuado de evaluación (realizada por el profesorado) y autoevaluación (realizada por el alumnado), a fin de que el estudiante sepa, por un lado, qué aspectos ha superado y no necesita mejorar; y, por otro, las tareas que ha de desarrollar con objeto de mejorar las deficiencias detectadas en su aprendizaje.

- *Es fundamental la colaboración entre el profesorado que interviene en el aula, en especial, los de materias afines* (por ejemplo, entre los profesores de Ciencias, Matemáticas y Tecnología). Ello responde a que el proceso de cambio metodológico es complicado y no siempre da los resultados deseados de forma inmediata. Se hace necesario, en este sentido, un trabajo en equipo que aúne criterios, con objeto de habituar al alumnado a trabajar con la metodología adoptada; lo cual se logra si se emprende desde el comienzo y con una coordinación adecuada.

2.3. Aportaciones de la epistemología en los diseños curriculares en física

En los últimos años, los investigadores en Didáctica de las Ciencias consideran de especial importancia la incorporación de aspectos epistemológicos, con el fin de mejorar el proceso de enseñanza/aprendizaje. Su presencia es cada vez más notoria en los diseños curriculares y en los programas de Formación del Profesorado en Ciencias. Como señala Barboza (2004):

La epistemología sobre la que se asienta el pensamiento científico de una época histórica determinada, mantiene vínculos estrechos con el resto de las concepciones del pensamiento humano, dado que todos los discursos considerados verdaderos surgen en el seno y a partir de idénticas condiciones socio-culturales.

En los últimos años, la epistemología ha sido definida de diferentes maneras, si bien todas las definiciones coinciden en que se trata de una disciplina que se ocupa de estudiar el desarrollo y la evolución del conocimiento científico. Así, Pérez Gómez (1978, cit. en Martín-Moreno, 1996: 33) define la epistemología como "el estudio de la constitución de los conocimientos científicos que se consideran válidos."

Gaeta y Robles (1990), por su parte, la definen como *“la parte de la Filosofía que se ocupa, específicamente, del conocimiento científico.”*

Klimovsky (1994) profundiza más aún y establece que la *epistemología* es *“una metaciencia en el sentido más amplio, es decir, una disciplina científica que tiene por objeto el estudio específico de la Ciencia en general, y cada una de las ciencias en particular.”*

La epistemología es una disciplina que toma libremente aspectos de la historia, sociología y psicología de la Ciencia), sin identificarse con ninguna de ellas. Asimismo, incluye la *metodología de la ciencia*, que, según algunos autores (Samaja, 1994; Echeverría, 1999), constituye el núcleo central de esta disciplina.

El acercamiento producido en los últimos años, entre la Didáctica de las Ciencias y la epistemología, se debe, principalmente, al debate educativo en torno al constructivismo (del que hablaremos más adelante) como fundamentación teórica para la enseñanza/aprendizaje de las Ciencias. Prueba de ello es la presencia progresiva de la historia y la filosofía de la Ciencia en la educación científica básica en los últimos tiempos.

Una definición clara de la componente epistemológica del marco conceptual, constituye la guía fundamental para el diseño y la concreción del currículo de Física de cualquier nivel educativo. Al hilo de esto, algunos autores (Colombo y Salinas, 2000) revelan la existencia de una estrecha vinculación entre el modelo de aprendizaje, que orienta un diseño curricular, con las concepciones epistemológicas del profesorado; esto es, las ideas que se tiene sobre la Ciencia, determinan la acción docente en los diferentes niveles de concreción del currículum. Así, por ejemplo, los paradigmas como el *dogmático-escolástico* o el *inductivo-empirista*, caracterizados, en un caso, por una concepción de Ciencia acabada y cerrada, que el profesorado debe transmitir, y, en el otro, por una visión que centra el aprendizaje en el “descubrimiento” por “observación” de “leyes” de la naturaleza, generan diseños curriculares jerarquizados, que difícilmente conducen a un aprendizaje significativo (Salinas, Colombo y Jaén, 1995). En este orden de ideas, Hodson (1988, cit en Colombo, 2003: 85) escribe que:

Muchos profesores y profesoras valoran los objetivos de contenidos conceptuales y dejan librado al azar las actitudes y visiones sobre la naturaleza de la Ciencia, entonces son las epistemologías implícitas del currículo y del profesorado, las que transmiten el mensaje de lo que la Ciencia es.

Otra cuestión que genera dificultades, en la planificación de una propuesta curricular en Física, es la selección de los contenidos mínimos. El compromiso entre contenidos, profundización y tiempo de instrucción es un desafío permanente de la eficiencia del diseño, de modo que es necesario contar con criterios orientadores para ello. Una argumento consiste en concebir el conocimiento científico como construcción de regularidades y categorías que surgen de la interacción entre el objeto de conocimiento y la estructura cognoscitiva del sujeto en relación con la dialéctica (Pozo, 1997); la cual, modifica a ambas en la búsqueda de descubrir, explicar, interpretar y predecir comportamientos. Esta concepción de Ciencia fundamentará

modelos de aprendizaje constructivistas complejos, abiertos, en permanente elaboración, como el de *aprendizaje significativo* o el de *aprendizaje como proyecto de investigación guiado por expertos*.

2.3.1. Influencia de la concepción epistemológica de la Ciencia en la metodología de enseñanza

Acabamos de exponer la importancia de la epistemología en los diseños curriculares de las Ciencias Experimentales, si bien, su contribución a la problemática de la enseñanza ha dado origen, en las últimas décadas, a distintas metodologías de enseñanza. A continuación exponemos –adaptado de Barboza (2004)– las diferentes metodologías empleadas en la enseñanza de las Ciencias y las concepciones epistemológicas que en éstas subyacen.

a) Enseñanza tradicional

Desde el Empirismo se sostienen dos ideas predominantes. Por un lado, se considera a la Ciencia como una acumulación de hechos y teorías, de modo que el conocimiento se descubre aplicando el método científico. Esta concepción da lugar a un enfoque pedagógico-didáctico basado en un aprendizaje memorístico y acumulativo, donde se transmite a los alumnos los conocimientos científicos considerados verdaderos, y no se tienen en cuenta los conocimientos previos de los alumnos. Se enseña a observar y a aplicar el método científico. Es un enfoque basado, esencialmente, en la enseñanza inductiva como garantía del aprendizaje. Asimismo, se hace hincapié en la lógica de la disciplina científica y no considera la naturaleza reorganizativa del aprendizaje cognitivo. Se pone énfasis en los contenidos de la asignatura y no en los procesos de aprendizaje, de manera que la enseñanza se limita a que alguien (el profesor), conocedor de la verdad, la transmita. En este sentido, el docente es el principal protagonista, poseedor de una verdad científica que transmite al alumnado, que organiza los conocimientos transmitidos. Se tiene la idea de que los alumnos llegan al sistema educativo con la “mente vacía” y la enseñanza la “llena” de conocimientos. Por último, se considera a la *razón* como la fuente última del conocimiento; por tanto, se aboga por un enfoque educativo que promueve una enseñanza basada en la utilización de la lógica y el razonamiento abstracto. En consecuencia, el desarrollo del pensamiento formal mediante actividades, es una condición necesaria y suficiente del aprendizaje científico; lo cual, origina que en el currículo se jerarquicen las actividades que fomentan el desarrollo formal por encima de los contenidos específicos.

b) Enseñanza por descubrimiento

El aprendizaje por descubrimiento también está basado en el Empirismo. La noción fundamental ya no pone el énfasis en los contenidos como era propio del enfoque tradicional, sino que se produce una separación real entre procesos y productos. Se cuestiona la transmisión verbal y se propone una nueva metodología basada en una concepción epistemológica de la Ciencia empírico-inductivista. La experiencia es la fuente del conocimiento científico y toda experiencia empieza por la observación. Se valoriza el método científico como factor para generar el conocimiento y lo identifica con el trabajo experimental. Para esto, se propone una enseñanza activa que pone el énfasis en los procesos de aprendizaje; de este modo, el

alumnado debe hallar (aprender), por acción mental y a través del material suministrado, un conocimiento que no es explícito. Se distinguen cinco fases del método por descubrimiento:

1. Presentación por parte del profesor de una situación problemática.
2. Verificación de los datos recogidos con respecto a dicha situación.
3. Experimentación en torno a dichos datos.
4. Organización de la información recogida y explicación de la misma.
5. Reflexión sobre la estrategia de investigación seguida (Análisis del método científico).

Estas fases demuestran que la actividad se centra en la aplicación del método científico, más que en contenido de los problemas que se abordan.

El aula se concibe como un laboratorio, donde se hacen experiencias cuyos resultados permitirán inducir teorías. El docente orienta y guía las experiencias, pero no da explicación de los hechos observados. No conceptualiza nunca los conflictos, sino que deben ser los alumnos quienes elaboren las teorías que les ayuden a resolverlos. Se enfatiza, así, el trabajo autónomo del alumnado y se descuida el papel del docente.

Esta metodología no es defendida, en la actualidad, desde las visiones epistemológicas y psicológicas de la educación. Si bien, aún sigue teniendo presencia en muchas aulas de Ciencia. Es preciso destacar que el paso de la enseñanza tradicional a la enseñanza por descubrimiento, tuvo como repercusión importante la consideración del alumno como elemento clave del proceso de enseñanza/ aprendizaje.

c) Modelo de cambio conceptual

El modelo considera que la verdadera asimilación de conceptos exige un proceso activo de relación, diferenciación y reconciliación integradora con los conceptos pertinentes que ya existen en la mente de quien aprende. Aparece el concepto de *aprendizaje significativo* y la importancia de las estructuras conceptuales de los alumnos. Al respecto, destaca dos puntos que son prioritarios: la estructura conceptual del contenido y la importancia que debe dársele a lo que el estudiante ya sabe (*sus ideas previas*). Según el modelo, la existencia de ideas previas o preconceptos, sobre la realidad que maneja un estudiante, se encuentran relacionadas y forman teorías implícitas en el estudiante, que condicionan la adquisición de los nuevos conocimientos. Conocer las características de las ideas previas es esencial si se quiere lograr una 'reconciliación integradora' entre los nuevos conocimientos y los que ya existen en la mente del estudiante. Entre sus características se destacan las siguientes:

- ✓ Son espontáneas: surgen naturalmente, y tienen su origen en la interacción con el mundo y con las personas.
- ✓ Son construcciones personales, es decir, producto de su experiencia personal con el mundo y no a través de un centro de enseñanza.
- ✓ Se caracterizan por ser científicamente incorrectas desde el punto de vista formal de la Ciencia, pero no en un contexto cotidiano extraescolar.
- ✓ Se encuentran implícitas en el estudiante y no le es fácil exteriorizarlas.

- ✓ Pueden presentarse en forma incoherente o contradictorias entre sí.
- ✓ Son resistentes al cambio debido a su propio origen.

Las ideas previas, aun cuando tienen características personales, son compartidas por alumnos y adultos de distintas edades, y suelen manifestarse de la misma manera. Tienen un carácter histórico en el sentido de que reproduce etapas de la evolución del conocimiento científico. El modelo de cambio conceptual está basado en los aspectos siguientes:

1. La existencia de las ideas previas en los alumnos, que han de ser detectadas.

2. Aprender no sólo significa adquirir nuevos conocimientos, sino que, además, se deben cambiar los existentes con el fin de acceder a nuevas formas de explicación.

3. El conflicto entre las ideas nuevas y las preexistentes, ocupa un lugar fundamental en todas las explicaciones del aprendizaje cognitivo.

4. El estudiante ha de tomar conciencia en la resolución de esos conflictos.

5. El cambio conceptual debe, a su vez, ir acompañado por un cambio metodológico y actitudinal, que supere el modo cotidiano de abordar los problemas.

6. El docente es un mediador y facilitador del aprendizaje. Desde esta visión, el docente debe provocar el pertinente conflicto cognitivo en los alumnos, y utilizar el error como herramienta metodológica, que les sitúe, de forma sistemática e intencional, en disposición de indagar sobre lo que deben aprender.

7. La metodología de enseñanza se basa en un modelo *apropiativo-aproximativo* del conocimiento, esto es, se pone énfasis tanto en las estrategias de enseñanza del docente como en las estrategias de aprendizaje del alumnado.

2.4. El modelo constructivista en la enseñanza/aprendizaje de la Física

Acabamos de ver la importancia que tienen la estructura cognitiva del alumnado y el ambiente que le rodea, en el aprendizaje de las Ciencias. Por este motivo, se hace necesario plantear la enseñanza/aprendizaje de la Física bajo un enfoque educativo que contemple esos dos elementos decisivos. El enfoque ha de ser capaz de compatibilizar el binomio «ciencia del alumno–ciencia formal», con el propósito de posibilitar el *cambio conceptual*. Surge así el *constructivismo* como modelo de enseñanza/aprendizaje de la Física y de materias afines (Gil y Guzmán, 1993). Éste toma como base que el estudiante, al interactuar con el entorno, con los demás, y con los inventos tecnológicos, elabora modelos mentales internos, de sí mismo y de las cosas con las que interactúa. Desde esta visión, los elementos de aprendizaje se incorporan a la estructura cognitiva que ya poseen los alumnos.

El *constructivismo* es un proceso que consiste en equilibrar lo que se conoce y lo que se va a incorporar, de modo que cuando lo que se va a aprender encaja en la estructura cognitiva del estudiante, se produce el

aprendizaje significativo. Si no hay discrepancia entre la estructura mental del estudiante y la nueva información, habrá una yuxtaposición de ambas que dificultará el aprendizaje real y, por tanto, será, en todo caso, memorístico (Gil *et al*, 1991).

Posner *et al* (1982) identifican cuatro condiciones para que tenga lugar el *cambio conceptual* en el marco del *constructivismo*:

1. Es preciso que se produzca *insatisfacción* con los conceptos existentes.
2. Ha de existir una *concepción mínimamente inteligible*, que
3. debe llegar a ser plausible, aunque inicialmente *contradiga las ideas* previas del estudiante, y
4. ha de ser potencialmente fructífera, dando *explicación a las anomalías encontradas* y abriendo *nuevas áreas de investigación*.

Por otra parte, Glasersfeld (1993) establece que el *constructivismo* se ha de basar en dos principios fundamentales:

1. El conocimiento no se recibe pasivamente del exterior, sino que se *construye de manera activa* en la mente de quien aprende.
2. El aprendizaje consiste en un *proceso adaptativo*, que sirve para la *organización del mundo personal de las experiencias*. Los constructos personales elaborados no son un reflejo de estructuras preexistentes o independientes a la mente del sujeto; son estructuras que no tienen realidad ontológica, es decir, existen sólo en la mente de quien los construye.

Driver (1986), por su parte, señala que el proceso de enseñanza/aprendizaje, bajo la óptica constructivista, ha de tener presentes tres aspectos fundamentales:

- Considerar que el estudiante es un constructor activo de significados.
- El aprendizaje debe tener en cuenta los esquemas conceptuales previos, que existen en la estructura cognitiva del estudiante, y la manera de enfocar los problemas o situaciones nuevas.
- Para que el aprendizaje sea significativo, el estudiante ha de encontrar sentido a lo que se va a aprender, estableciendo relaciones entre conceptos y conexiones con el entorno próximo.

Sobre la base teórica anterior, diversas investigaciones (Gil y Guzmán, 1993; Rodríguez-Moneo y Aparicio, 2004) apuntan que las estrategias de enseñanza basadas en el *modelo de cambio conceptual* producen la adquisición de conocimientos científicos más eficazmente que la estrategia habitual de *transmisión/recepción*. La atención a las ideas previas del alumnado, y la orientación de la enseñanza tendente a hacer posible el cambio conceptual, aparecen hoy como adquisiciones relevantes de la Didáctica de las Ciencias. No obstante, algunos autores (p.e. Duit, 1999) han constatado que ciertas concepciones alternativas son resistentes a la instrucción, incluso estando orientada, explícitamente, a provocar el cambio conceptual. Es más, en ocasiones, el cambio conceptual logrado es más aparente que real, y al poco tiempo vuelven a reaparecer las concepciones

que se creían superadas. Al respecto, cabe decir que, desde una perspectiva epistemológica, la construcción del conocimiento tiene lugar en el interior del sujeto y sólo él la puede realizar; otra cuestión diferente son las condiciones externas que hacen posible, facilitan o dificultan esa construcción. Por tanto, no es coherente con el constructivismo pensar que existen factores externos, tan favorables, que inducen al aprendiz a realizar construcciones cognitivas. Este modelo de aprendizaje de las Ciencias, exige tener en cuenta otros aspectos además de la existencia de preconcepciones, como el hecho de plantear el aprendizaje como investigación y pasar de los meros ejercicios de aplicación al tratamiento de situaciones científicas problemáticas. Gil y Guzmán (1993) establecen, en este sentido, una serie de pautas orientadas a constituir un modelo de aprendizaje basado en la *resolución de problemas como investigación*:

I. Considerar cuál puede ser el interés de la situación problemática abordada.

II. Comenzar por un estudio cualitativo de la situación, intentando acotar y definir de manera precisa el problema, explicitando las condiciones que se consideran esenciales.

III. Emitir hipótesis fundadas sobre los factores de los que depende la magnitud buscada y sobre la forma de esta dependencia, imaginando, en particular, casos límite de fácil interpretación física.

IV. Elaborar y explicitar posibles estrategias de resolución antes de proceder a ésta, evitando el puro ensayo y error. Buscar distintas vías de resolución, con el fin de posibilitar la contrastación de los resultados obtenidos y mostrar la coherencia del cuerpo de conocimientos de que se dispone.

V. Realizar la resolución verbalizando al máximo, fundamentando lo que se hace y evitando, una vez más, operativismos carentes de significación física.

VI. Analizar cuidadosamente los resultados a la luz de las hipótesis elaboradas y, en particular, de los casos límite considerados.

En sintonía con el enfoque *constructivista*, la enseñanza/aprendizaje de la Física ha de adaptar los conceptos físicos a la estructura de conocimiento y al entorno cotidiano del alumnado; de modo que le permita analizar, de forma activa, una situación problemática y obtener conclusiones que estén de acuerdo con las leyes e interpretaciones de la Física. Para ello, Wheatley (1991) concreta que, con el fin de que el modelo de aprendizaje constructivista sea efectivo, su aplicación se debe articular en torno a tres elementos básicos: a) los programas de actividades (situaciones problemáticas susceptibles de implicar a los alumnos en una investigación dirigida), b) el trabajo en pequeños grupos y c) los intercambios entre dichos grupos y la comunidad científica (representada por el profesorado, libros de texto, etc).

La aplicación del modelo constructivista en el aula de Física exige, además, un cambio profundo en la práctica docente. En lugar de ser un mero transmisor de conocimientos científicos ya elaborados, el profesorado asumirá el papel de *conductor del proceso de enseñanza/aprendizaje*. Gil et

al (1991) y Solís y García Torres (1997) indican, al respecto, que para desempeñar el nuevo rol, el profesor ha de tener las siguientes características: a) actuar de *motivador*, con el propósito de suscitar el interés de los alumnos por la materia; b) ser *diagnosticador* de la situación de partida del alumnado (ideas previas) con el fin de afrontar el nuevo aprendizaje; c) ser el *guía u orientador* del proceso de aprendizaje, con la intención de que éste sea significativo; d) ser *innovador* en el sentido que, en cualquier situación de aprendizaje, proporcione los recursos didácticos más adecuados que faciliten la adquisición de los conocimientos; y por último, e) ser *experimentador y evaluador* del proceso de enseñanza/aprendizaje, con el propósito de subsanar las dificultades y deficiencias surgidas durante dicho proceso. En definitiva, supone pasar de ser profesor a *profesor-investigador* del proceso de enseñanza/aprendizaje en su praxis docente.

Hoy día, el modelo constructivista juega el papel de integrar las investigaciones en los diferentes aspectos de la enseñanza/aprendizaje de las Ciencias con las aportaciones procedentes del campo de la epistemología y la psicología del aprendizaje. De este modo, las propuestas constructivistas se han convertido en el eje de una transformación fundamentada de la enseñanza de las Ciencias. Si bien, la etiqueta 'constructivista' puede terminar convirtiéndose en un término vago e impreciso si la afirmación "*el sujeto construye el conocimiento*" no se llena de contenidos más precisos. Por ello, la construcción del conocimiento individual debe ir acompañada de la aportación de una teoría de aprendizaje, que aporte los mecanismos sobre cómo lo construye. En consecuencia, todo depende de cómo se defina la interacción sujeto-objeto y de cómo se concrete la entidad de la estructura cognoscitiva del sujeto y de la naturaleza del medio externo.

3. Enseñanza de la física de semiconductores en un marco constructivista

En sintonía con todo lo anterior, a la hora de plantear la enseñanza de la Física de Semiconductores en la ESO, es necesario atender a la estructura cognitiva inicial del alumnado, así como a las características del marco curricular en el que se va a integrar. Todo ello, con idea de enlazar lo que los alumnos conocen con la nueva información, a fin de que sea posible el aprendizaje significativo de los contenidos. En consecuencia, el constructivismo se presenta como el paradigma adecuado para abordar su enseñanza/aprendizaje.

Desde la óptica del constructivismo, la enseñanza de la Física de Semiconductores en la ESO se planificará de manera que los contenidos propuestos conecten, adecuadamente, con los ya incluidos en el actual currículo de Física y Química y de Tecnología de la etapa. Además, su introducción será progresiva y coordinada, con idea de situar al alumnado en disposición de afrontar un nuevo aprendizaje, partiendo de los contenidos que el alumnado ya ha estudiado con anterioridad. Por tanto, se exige una adaptación especial de los contenidos a la estructura psicológica y cognitiva del alumnado de este nivel.

Será necesario, también, conocer las ideas previas que los alumnos poseen sobre el tema; si bien, dado que el tema que nos ocupa es nuevo para ellos, la atención se centrará en las concepciones que estos tienen sobre los contenidos relacionados directamente con los que se propongan. Pero, en cualquier caso, sólo la puesta en práctica de materiales didácticos, diseñados con tal fin y evaluados convenientemente, indicará la validez educativa de la propuesta de enseñanza/aprendizaje que se plantee.

3.1. Estrategias para la integración de la física de semiconductores en el currículo de ciencias (física y química) de la ESO

De acuerdo con el currículo de física y química de la ESO, creemos que lo más adecuado es integrar la Física de Semiconductores con los contenidos relativos a la *Naturaleza y propiedades de la materia* y la *Electricidad*. Esta integración se plantea del modo siguiente:

A) La *estructura y propiedades físicas de los semiconductores*, se introduce en el contexto de los contenidos sobre estructura y comportamiento de la materia que siguen:

- Comportamiento interno de la materia, según la teoría cinética; concepto de energía de ionización.
- Aproximación a la estructura atómica de la materia: modelo atómico de Rutherford.
- Sistema periódico y enlace químico: clasificación de los elementos en metales, no metales y semimetales, según sus propiedades físico-químicas; configuración electrónica de los elementos; enlace iónico, covalente y metálico.

B) La *conducción eléctrica en materiales semiconductores* se introduce en el marco de los contenidos de electricidad siguientes:

- Concepto de carga eléctrica; movimiento de cargas eléctricas y su causa (diferencia de potencial).
- Ley de Ohm; resistencia eléctrica, resistividad y su variación con la temperatura.

3.2. Tratamiento científico-didáctico de la Física de Semiconductores en la ESO

Sobre la base del paradigma constructivista, proponemos, a continuación, algunas orientaciones didácticas para la enseñanza/aprendizaje de la Física de Semiconductores en la ESO.

3.2.1 .Conocimientos preliminares

En línea con el modelo de aprendizaje constructivista, antes de iniciar el estudio de los aspectos básicos de la Física de Semiconductores en la ESO, es necesario que los alumnos y alumnas posean unos conocimientos mínimos sobre *estructura y propiedades de la materia* y *Electricidad*. Ello tiene como objetivo proporcionarles el marco conceptual de partida idóneo para el aprendizaje de los nuevos conceptos. Se tratará de proveer a los

alumnos de los pilares cognitivos básicos sobre los que se construirán los nuevos conceptos, con el propósito de que logren un aprendizaje significativo. Por ello, es preciso hacer un tratamiento didáctico adecuado de los conceptos, ya que, en la medida en que sean bien asimilados por el alumnado, contribuirán, significativamente, en el aprendizaje de la Física Básica de Semiconductores.

En lo que sigue, exponemos el tratamiento científico-didáctico de los contenidos previos, o preliminares, que son esenciales al llevar a cabo la enseñanza/aprendizaje de la Física de Semiconductores en la ESO.

'Concepto de carga neta'

El concepto de *carga* suele plantear dificultades a los alumnos, sobre todo, a la hora de distinguir entre 'poseer carga' y 'estar cargado'. Suelen asumir que un cuerpo está cargado por el hecho de poseer cargas, y no tienen en cuenta si el efecto global de esas cargas es el estado neutro. La corrección de esta idea requiere de una adecuada comprensión de la naturaleza eléctrica de la materia, que se ha de fundamentar en las nociones elementales sobre la estructura interna del átomo. A la vista de los resultados de algunos estudios (Tsaparlis y Papaphotis, 2002), creemos que en Educación Secundaria es suficiente con una descripción pre-cuántica basada en una aproximación del modelo atómico de Rutherford. A partir de éste, los alumnos pueden comprender que los cuerpos, constituidos por átomos, son eléctricamente neutros porque tienen el mismo número de electrones y de protones. Y sólo en el caso de que exista un *desequilibrio* entre ambos tipos de carga, el cuerpo estará cargado. Asimismo, será preciso aclarar que esta situación no es estable, ya que provoca una atracción entre cuerpos cargados con signo contrario, o entre cargados y neutros. Con todo, a la hora de introducir el estado eléctrico de los cuerpos, es necesario insistir en que dicho estado viene determinado por su *carga neta*: diferencia entre el número de electrones y protones.

'Electrización de la materia'

El aprendizaje del fenómeno de la electrización ha sido objeto de estudio en diversos trabajos (p.e. Furió y Guisasola, 1999; Criado y Cañal, 2002, 2003). Una de las concepciones alternativas más frecuentes de los alumnos consiste en pensar que la carga se "crea" cuando el cuerpo es electrizado. También los alumnos son propensos a pensar que un cuerpo cargado positivamente es aquel que ha ganado protones y que, por tanto, también pueden generar corrientes eléctricas. Con base en el modelo atómico de Rutherford, se considerará que la electrización de la materia se debe exclusivamente a la pérdida o ganancia de electrones –que ya existen en los átomos y que, por tanto, no se "crean"– y nunca de protones. Esto se puede enfatizar –en una primera aproximación– por el hecho de que los protones, al encontrarse en el núcleo, no "pueden" abandonar el átomo ni "moverse". Ello ayudará, también, a comprender que la separación de cargas en la electrización por inducción, se debe, exclusivamente, al movimiento de electrones; de manera que una acumulación de carga positiva, en una parte del objeto, se debe a la migración de electrones al otro extremo del mismo por la acción de una carga externa.

'Causa del movimiento de cargas'

La diferencia de potencial es uno de los conceptos de electricidad que mayores dificultades de aprendizaje plantea a los alumnos. Una de las concepciones alternativas más frecuentes consiste en creer que la diferencia de potencial es el efecto de una corriente eléctrica, en lugar de su causa; y, también, que no puede existir diferencia de potencial entre dos puntos si no pasa una corriente eléctrica. Gran parte de las concepciones alternativas, relativas a este concepto, son consecuencia de un tratamiento inadecuado en su enseñanza. Así, es frecuente encontrar en los libros de texto un tratamiento casi exclusivamente matemático del concepto de diferencia de potencial, sin que se incida en su significado físico.

En sintonía con Shipstone (1985), creemos que el concepto de diferencia de potencial debe introducirse como la energía necesaria para trasladar la unidad de carga positiva entre los dos puntos a los que se aplica dicho diferencia de potencial. De esta forma, se pretende que las concepciones de los alumnos evolucionen del modelo de "fuerza del empuje de la batería" al modelo basado en la "transferencia de energía" entre la batería y los elementos del circuito. En este nivel introductorio, y para el tratamiento de los semiconductores es suficiente hacerlo así. Dejamos para niveles superiores la propuesta de Eylon y Ganiel (1990), de utilizar el campo eléctrico como la causa del movimiento de las cargas. Somos conscientes de que una comprensión profunda del concepto de diferencia de potencial exige hacer un análisis de la génesis y evolución epistemológica del mismo; si bien, consideramos que ello es pertinente hacerlo en cursos superiores.

'Materia y materiales: conductores, aislantes y semiconductores'

Algunos estudios (p.e. Andersson, 1990; Noh y Scharmann, 1997) han puesto de manifiesto la dificultad que tienen los alumnos para explicar la estructura y el comportamiento de la materia. Estas dificultades aumentan cuando los alumnos tienen que justificar dicho comportamiento desde una perspectiva atómica. El conocimiento de tales dificultades es esencial para nuestro planteamiento didáctico, ya que una adecuada comprensión de la conducción eléctrica en los materiales exige que los alumnos conozcan cómo se distribuyen los electrones en el interior de los átomos, y cuáles son las características fundamentales del enlace químico. En particular, resulta fundamental que conozcan la estructura de los sólidos covalentes atómicos, correspondiente a los semiconductores. Por eso es necesario tener presentes las dificultades de aprendizaje más frecuentes de los alumnos respecto al enlace covalente.

En nuestra propuesta de enseñanza, con el fin de comprender el comportamiento eléctrico de los materiales, hacemos una primera introducción a la configuración electrónica de los elementos, resaltando el papel de los electrones de la capa más externa [electrones de valencia]. En Educación Secundaria, creemos que es suficiente con que el alumno sea capaz de obtener la distribución de los electrones en los distintos niveles de energía electrónica –sin hacer mención a los subniveles energéticos–, e identificar el número de electrones de valencia. Ello le permitirá obtener una primera idea del enlace químico y comprender ciertas propiedades físico-

químicas de los materiales, como son el carácter conductor, aislante o semiconductor de la electricidad.

'Influencia de la temperatura en la conducción eléctrica y resistividad'

La *resistencia eléctrica*, como magnitud que indica la oposición que ofrecen los materiales al paso de corriente eléctrica, suele ser bien asimilado por los alumnos; sin embargo, el *concepto de resistividad* ofrece más dificultades de comprensión. En Educación Secundaria apenas se hace alusión a este concepto, sin embargo, resulta esencial en Física de Semiconductores. Como primera aproximación, en esta etapa se puede introducir la resistividad como una característica propia de cada material, independiente de sus dimensiones, que da idea de la oposición intrínseca que éste presenta al paso de corriente eléctrica (Pierret, 1994).

La influencia de la temperatura en la conducción eléctrica de los materiales, puede ser comprendida con ayuda de la *teoría cinética* de la materia¹ y el *concepto de energía de ionización*, teniendo en cuenta, en todo momento, lo que la literatura nos dice sobre las dificultades habituales de enseñanza y aprendizaje de ambos tópicos. En efecto, la resistividad de un conductor crece a medida que lo hace la temperatura, ya que los átomos aumentan la amplitud de su vibración en torno a sus posiciones de equilibrio; con lo cual, obstaculiza el movimiento de la gran cantidad de electrones libres que posee el material. Sin embargo, en los semiconductores [sólidos covalentes atómicos] un aumento de temperatura produce rupturas en sus enlaces y, a consecuencia de ello, se liberan electrones -cuando adquieren la energía de ionización-, que estarán dispuestos a formar una corriente eléctrica, si se le aplica el diferencia de potencial correspondiente. Ello explica la disminución de la resistividad de los semiconductores ante un aumento de la temperatura.

3.2.2. Conceptos básicos de Física de Semiconductores

Una vez descrito el marco conceptual de partida, describimos, en lo que sigue, el tratamiento científico-didáctico que proponemos para enseñar Física de Semiconductores en el nivel de ESO.

'Concepto de semiconductor'

Teniendo en cuenta las capacidades cognitivas habituales del alumnado de 14-15 años, pensamos que el modo más apropiado de representar la estructura de los semiconductores es mediante el *modelo bidimensional* de la figura 2.1. Se trata de un modelo clásico, bastante simplificado, que representa la estructura covalente de un semiconductor intrínseco (de Si o Ge), y que permite hacer una primera introducción al estudio de estos materiales en Educación Secundaria. Éste, además, está en consonancia con lo sugerido en el currículo de esta etapa, donde se aconseja el estudio de la estructura de la materia desde una perspectiva clásica. El empleo de otros modelos más complejos, como el de bandas de energía, plantearía dificultades importantes a los alumnos de dicho nivel educativo, ya que se

¹En el caso de los materiales sólidos, la teoría cinética explica cómo está relacionado el movimiento de vibración de sus átomos o moléculas, en torno a puntos fijos o de equilibrio, con la temperatura.

fundamentan en la teoría cuántica, que es introducida a partir de Bachillerato (16-18 años).

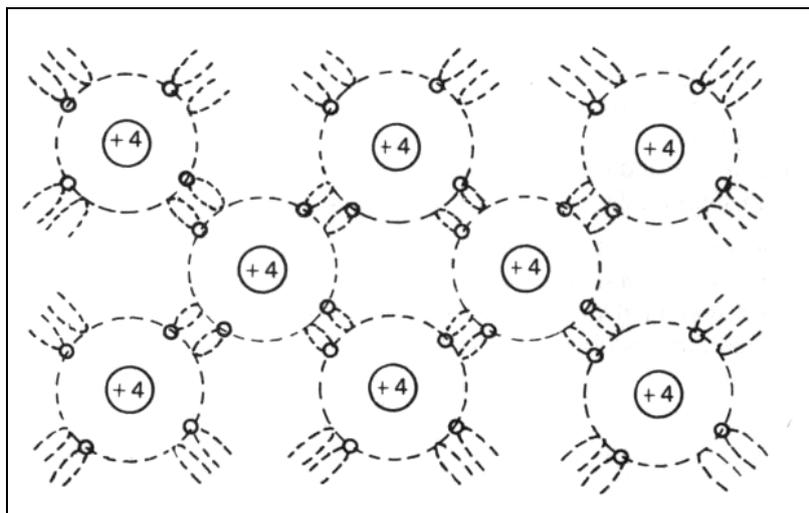


Figura 2.1.- Modelo bidimensional de la estructura de un semiconductor intrínseco de Si/Ge.

'Generación y recombinación de pares electrón-hueco'

El concepto de *energía de ionización* y la *teoría cinética* permitirán explicar por qué un semiconductor conduce bien la electricidad a altas temperaturas (sobre los 800 grados kelvin, en el caso de un semiconductor de Silicio). Al aumentar la temperatura de un semiconductor, los electrones ligados a los átomos adquieren la energía cinética suficiente para romper el enlace y pasan a ser electrones libres (*generación de pares electrones-hueco*) (figura 2.2). A medida que aumenta la temperatura, habrá un mayor número de electrones dispuestos a formar parte de una corriente eléctrica. En estas condiciones, el semiconductor conduce mejor la electricidad que los metales, los cuales, a altas temperaturas, llegan a tener un número elevado de electrones libres y un estado de vibración de los átomos de su estructura, que dificultan el tránsito de las cargas en su interior. Cuando los electrones libres de un semiconductor pierden parte de su energía, debido a los múltiples choques con la estructura de la red, vuelven a ligarse a los átomos de la misma, ocupando así un hueco dejado por otro electrón liberado. Se produce así el proceso de *recombinación de pares electrón-hueco*.

'Concepto de hueco'

El *hueco* se define como la vacante que deja un electrón liberado de la red, en el proceso de generación, y que desaparece cuando se produce el proceso de recombinación. Se pretende que los alumnos concluyan que el efecto que se origina es que los huecos "se mueven" en sentido opuesto al de los electrones libres; con lo cual, si se aplica una diferencia de potencial al semiconductor, los huecos se comportan como si formasen parte de una corriente eléctrica de cargas positivas, que circula en sentido contrario a la de electrones (véase la representación de la figura 2.3). Por ello, en el

modelo de semiconductor que estamos utilizando, a los huecos se le asigna una carga positiva de valor $1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$.

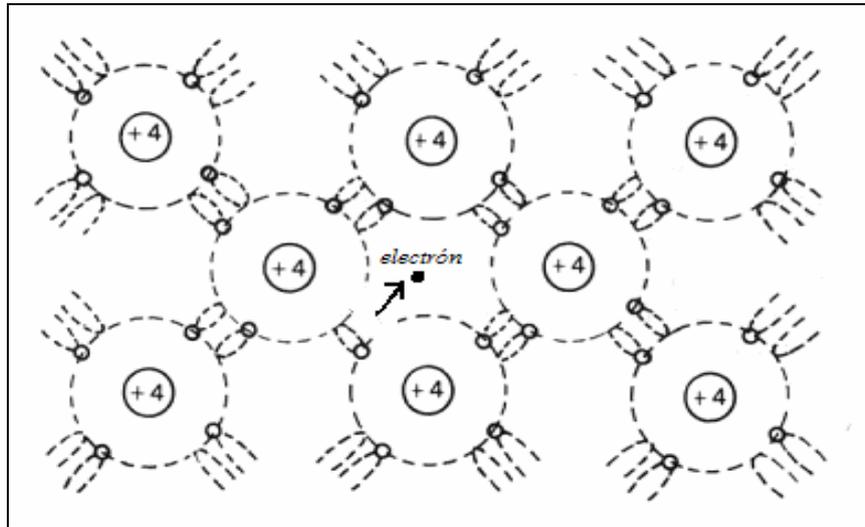


Figura 2.2.- Generación de un par electrón-hueco.

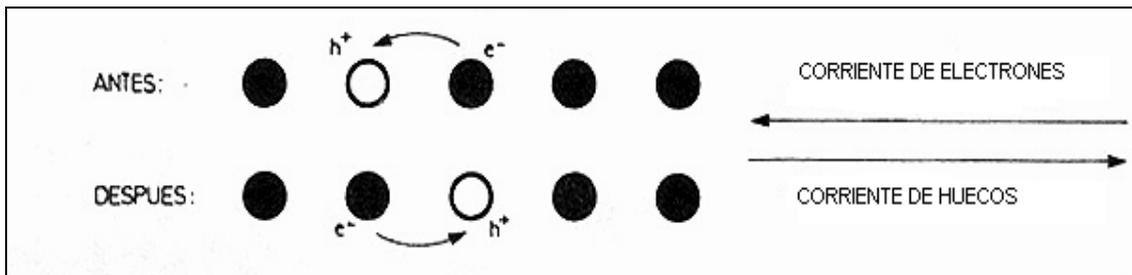


Figura 2.3.- Movimiento de electrones y huecos en un semiconductor.

Es comprensible que, al principio, los alumnos tengan dificultades para entender que un hueco funciona al mismo tiempo como una carga y un "vacío". Este tipo de dificultades son consecuencia de las limitaciones que, a veces, tienen los modelos que se utilizan en las Ciencias y su enseñanza. La asignación de una carga de $1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ a los huecos también suele originar conflictos cognitivos en los alumnos, porque llegan a confundirlos con los protones. Por eso, se deben resaltar dos diferencias fundamentales entre ellos: la primera, que los protones sí son cargas reales, mientras que los huecos no; y la segunda, que los protones no pueden moverse y generar corrientes eléctricas –al hallarse en el interior de los núcleos atómicos–, mientras que los huecos sí.

'Concepto de semiconductor extrínseco'

Una vez que se han estudiado los semiconductores intrínsecos, y se han analizado las concepciones y dificultades de aprendizaje de los alumnos, la introducción a los *semiconductores extrínsecos* se justificará como consecuencia de la necesidad de mejorar las aplicaciones tecnológicas de estos materiales en Electrónica.

Un *semiconductor extrínseco* se obtiene mediante el *dopado con impurezas* (átomos) de un semiconductor puro (intrínseco). Estas impurezas no deben producir alteraciones importantes en la estructura inicial del semiconductor; lo que explica que los átomos introducidos sean pentavalentes o trivalentes, cuyos tamaños son similares a los del semiconductor intrínseco. Con el propósito de que los alumnos se familiaricen con las impurezas, antes deben conocer los elementos pertenecientes a los grupos III y V del Sistema Periódico. A partir de estos, se les indicará que las impurezas requeridas para aumentar la concentración de electrones suelen ser átomos de fósforo, arsénico y antimonio (*impurezas donadoras*), entre los cuales el más común es el fósforo. Mientras que para aumentar la concentración de huecos se añaden átomos de boro, galio, indio o aluminio (*impurezas aceptoras*), siendo el más habitual el boro.

En la obtención de un *semiconductor extrínseco tipo n*, los alumnos deben comprender que, por ejemplo, un átomo de antimonio, cuyo tamaño es similar al del germanio, encajará sin dificultad en la estructura covalente del germanio, compartiendo un par de electrones con cada uno de los cuatro átomos de germanio más próximos. Puesto que el antimonio es un átomo pentavalente, uno de sus electrones de valencia quedará desapareado (figura 2.4), ya que los cuatro enlaces están completos. En consecuencia, el electrón que 'sobra' no influye en el enlace covalente, de modo que la energía necesaria para liberarlo es mucho menor que la requerida para romper un enlace covalente. Esto explica que ese electrón, incluso a temperatura ambiente, posea la energía suficiente para convertirse en un electrón de conducción. Se consigue, así, tener un electrón de conducción sin su correspondiente hueco; de modo que la corriente debida a los electrones será mayor que la debida a los huecos.

En cambio, un *semiconductor extrínseco tipo p* se consigue con la introducción de un átomo trivalente (figura 2.5). En este caso, el átomo extraño no posee el número suficiente de electrones de valencia para completar los cuatro enlaces covalentes; con lo cual, queda una vacante (hueco) en uno de los enlaces. El hueco puede ser ocupado por un electrón ligado de un enlace vecino, de modo que el hueco se mueve por el semiconductor, tal y como lo hacen los huecos producidos por generación de pares electrón- hueco. De esta forma, se consigue aumentar la corriente debida a huecos respecto a la de electrones.

En ocasiones, el hecho de que en los semiconductores extrínsecos exista distinto número de electrones libres y de huecos, suele inducir a los alumnos a pensar que no son eléctricamente neutros. Las impurezas que se insertan en un semiconductor, ya sean donadoras o aceptoras, son átomos –por tanto, neutros– que aportan el mismo número de electrones y de protones al semiconductor; de ahí que, aunque el átomo insertado quede ionizado al ocupar el lugar de un átomo de silicio o germanio, el semiconductor en su conjunto sigue siendo neutro. Asimismo, se ha matizará que estos iones –positivos si proceden de una impureza donadora, o negativos de una impureza aceptora–, no contribuyen a la conducción eléctrica, ya que ocupan posiciones fijas en la estructura cristalina y no se mueven; en caso contrario, supondría una ruptura del material.

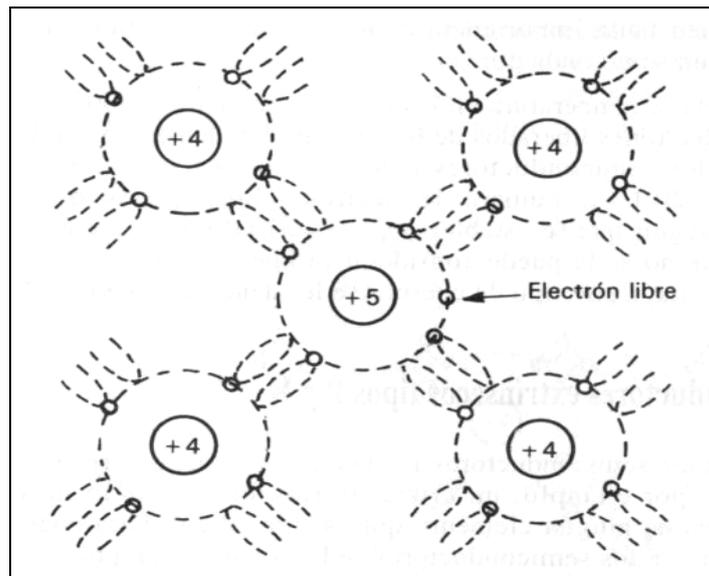


Figura 2.4.- Generación de un electrón libre mediante la introducción de una impureza donadora.

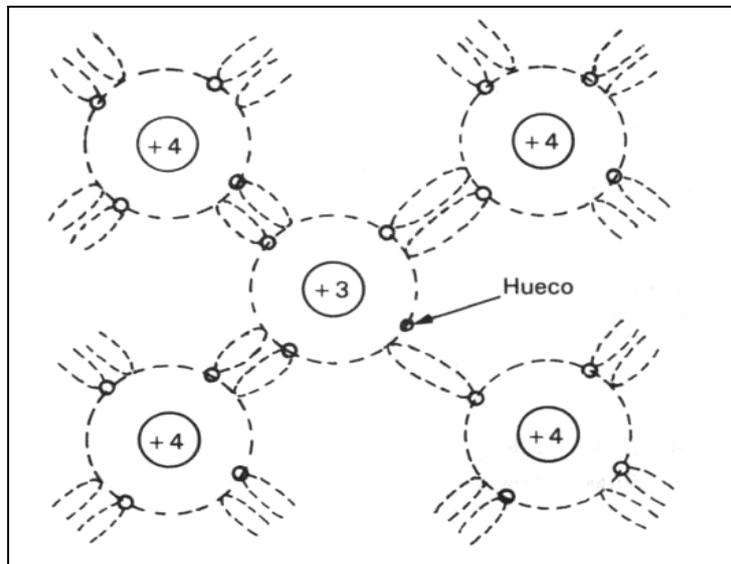


Figura 2.5.- Generación de un hueco mediante la introducción de una impureza aceptora.

Indicamos, también, que a diferencia de los semiconductores intrínsecos, donde las corrientes debidas a huecos y a electrones son de igual magnitud, en los semiconductores extrínsecos estas corrientes son diferentes debido a las impurezas. Puesto que un semiconductor tipo n se obtiene mediante el dopado de impurezas donadoras, se tiene un mayor número de electrones libres que huecos; con lo cual, los portadores de carga mayoritarios son los electrones y los huecos los minoritarios. Y en los semiconductores tipo p ocurre justo lo contrario; es decir, los portadores mayoritarios son los huecos y los electrones los minoritarios.

3.2.3 Relaciones Ciencia/Tecnología/Sociedad (CTS) en la enseñanza de la Física de Semiconductores

La enseñanza/aprendizaje de la Física de Semiconductores, al igual que el resto de contenidos de Física y Química, ha de contemplar las relaciones entre la Ciencia, la Tecnología y la Sociedad (relaciones CTS). Con este planteamiento se incrementará el interés de los alumnos por su aprendizaje, ya que les permitirá relacionar la 'ciencia de los semiconductores' con los ámbitos tecnológico, socioeconómico y cultural en que ésta se desarrolla. Asimismo, contribuirá a la formación integral de los alumnos como ciudadanos; los cuales, a través de la adquisición de una actitud crítica y reflexiva, estarán en disposición de analizar y valorar el importante papel de los semiconductores en el desarrollo de la sociedad en que se desenvuelven, dominada por la tecnología electrónica.

4. Referencias bibliográficas

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

Acevedo, J.A. (2004). Reflexiones sobre las finalidades de la enseñanza de las Ciencias: educación científica para la ciudadanía. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 1(1), pp. 3-16.

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

Aikenhead, G.S. (2005). Research into STS Science Education. *Educación Química*, 16(3), pp. 384-397.

Andersson, B. (1990). Pupils' conceptions of matter and its transformations (age 12-16). *Studies in Science Education*, 18, pp. 53-85.

Ausubel, D.P., Novak, J. D. y Hanesian, H. (1983). *Psicología Educativa. Un punto de vista cognitivo*. México: Trillas.

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

Barboza, L. (2004). Concepciones epistemológicas en la enseñanza. *Contexto Educativo*, 30. En: <http://www.contexto-educativo.com.ar/2004/1/nota-05.htm>.

Bugne, M. (1980). *Epistemología*. Barcelona: Ariel.

Caravita, S. y Hallden, O. (1994). Re-framing the problem of conceptual change. *Learning and Instruction*, 4(1), pp. 89-111.

Cohen, R., Eylon, B. y Ganiel, U. (1983). Potential difference and current in simple electric circuits: A study of students' concepts. *American Journal of Physics*, 51(5), pp. 407-412.

Colombo, L. y Salinas, J. (2000). Campos en las concepciones de los estudiantes sobre la Ciencia: resultados de una experiencia de aula, *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 22, pp. 106 -113.

Colombo, L. (2003). ¿Qué puede aportar la epistemología a los diseños curriculares en Física? *Ciência y Educação*, 9(1), pp. 83-91.

Concari, S.B. (2001). Las teorías y modelos en la explicación científica: implicaciones para la enseñanza de las Ciencias. *Ciência y Educação*, 7 (1), pp.85-94.

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

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

Delval, J. (1997). Tesis sobre el constructivismo. En Rodrigo, M.J. y Arnay, J. (comp.), *La Construcción del Conocimiento Escolar*, pp. 15-24. Barcelona: Paidós.

De Posada, J.M. (1996). Hacia una teoría sobre las ideas científicas de los alumnos. Influencia del contexto. *Enseñanza de las Ciencias*, 14 (2), pp. 303-314.

Domínguez, J.M., De Pro, A. y García-Rodeja, E. (1998). Las partículas de la materia y su utilización en el campo conceptual de *calor y temperatura*: un estudio transversal. *Enseñanza de las Ciencias*, 16(3), pp. 461-475.

Driver, R. (1986). Psicología cognoscitiva y esquemas conceptuales de los alumnos. *Enseñanza de las Ciencias*, 4 (1), pp. 3-15.

Driver, R., Guesne, E. y Tiberghien, A. (1999). *Ideas Científicas en la infancia y adolescencia* (4ª ed.). Madrid. MEC/Morata.

Duit, R. y Rhöneck, C. (1998). Learning and understanding key concepts of electricity. En Tiberghien, A., Leonard, E. y Barojas, J. (Eds.), *Connecting Research in Physics Education with Teacher Education* (International Commission on Physics Education). Online at: <http://www.physics.ohio-state.edu/~jossem/ICPE/C2.html>.

Duit, R. (1999). Conceptual change approaches in Science Education. En Schnotz, W., Vosniadou, S. y Carretero, M. (Eds.), *New perspectives on conceptual change* (pp. 263-282). Amsterdam: Pergamon.

Duschl, R. (1995). Más allá del conocimiento: los desafíos epistemológicos y sociales de la enseñanza mediante el cambio conceptual. *Enseñanza de las Ciencias*, 13 (1), pp. 3-14.

Echeverría, J. (1999). *Introducción a la metodología de la Ciencia. La Filosofía de la Ciencia en el siglo XX*. Madrid: Cátedra.

Elliott, J. (2000). *La investigación-acción en educación* (4ª ed.). Madrid: Morata.

Eylon, B.S. y GANIEL, U. (1990). Macro-micro relationships: the missing link between electrostatics and electrodynamics in students' reasoning. *International Journal of Science Education*, 12(1), pp. 79-94.

Fischer, H.E. y Aufschneider, S. (1993). Development of meaning during physics instruction: case studies in view of the paradigm of constructivism. *Science Education*, 77(2), pp. 153-168.

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

Furió, C. y Guisasola, J. (1998). Dificultades de aprendizaje de los conceptos de carga y campo eléctrico en alumnos de Bachillerato y Universidad. *Enseñanza de las Ciencias*, 16(1), pp. 131-146.

Furió, C. y Guisasola, J. (1999). Concepciones alternativas y dificultades de aprendizaje en electrostática. Selección de cuestiones elaboradas para su detección y tratamiento. *Enseñanza de las Ciencias*, 17(3), pp. 441-452.

Gaeta, R. y Robles, N. (1990). *Nociones de epistemología*. Buenos Aires: Eudeba.

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

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

García Carmona, A. (2004). Introducción a la configuración electrónica de los átomos en los niveles básicos de enseñanza. *Alambique: Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 40, pp. 25-34.

García Carmona, A. (2006). La estructura electrónica de los átomos en la Escuela Secundaria: un estudio de los niveles de comprensión. *Educación Química*, 17(3).

García Cruz, C. (1998). De los obstáculos epistemológicos a los conceptos estructurales: Una aproximación a la enseñanza-aprendizaje de la Geología. *Enseñanza de las Ciencias*, 16(2), pp. 323-330.

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

Gil, D. y Guzmán, M. (1993). *Enseñanza de las Ciencias y la Matemática. Tendencias e Innovaciones*. Biblioteca Virtual: Organización de Estados Iberoamericanos (O.E.I.) para la Educación, la Ciencia y la Cultura / Editorial Popular.

Glaserfeld, E. (1993). Introducción al constructivismo radical. En Watlawick, P. et al, *La realidad invertida*. Barcelona: Gedisa.

Greca, I.M. y Moreira, M.A. (1998). Modelos mentales y aprendizaje de Física en electricidad y magnetismo. *Enseñanza de las Ciencias*, 16(2), pp. 289-303.

Hodson, D. (1991). Towards a framework for multicultural Science Education. *Curriculum Review*, 13(1), pp. 15-28.

Hodson, D. (1994). Hacia un enfoque más crítico del trabajo de laboratorio. *Enseñanza de las Ciencias*, 12 (3), pp. 299-313.

Izquierdo, M. (1998). *Bases epistemológicas de la Didáctica de las Ciencias*. Bellaterra: Universitat Autònoma de Barcelona.

Izquierdo, M. (2000). Fundamentos epistemológicos. En Perales, F. J. y Cañal, P. (Eds.), *Didáctica de las Ciencias Experimentales*, pp. 35-64. Alcoy: Marfil.

Jiménez, E. y Durán, E. (1998). Didactic problems in the concept of electric potential difference and analysis of its phylogenesis. *Science & Education*, 7, pp. 129-141.

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

Klimovsky, G. (1990). Estructura y validez de las teorías implícitas. En Gaeta, R. y Robles, M. (Comps.), *Nociones de epistemología*. Buenos Aires: Eudeba.

Lee, O. et al (1993). Changing middle school students' conceptions of matter and molecules. *Journal of Research in Science Teaching*, 30(3), pp. 249-270.

Marín, N. (2003). Visión constructivista dinámica para la enseñanza de las Ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, nº extra, pp. 43-55.

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

Martín-Moreno, Q. (1996). *La Organización de Centros Educativos en una Perspectiva de Cambio*. Madrid: Sanz y Torres.

Matthews, M. (1994). Historia, Filosofía y enseñanza de las Ciencias: La aproximación actual. *Enseñanza de las Ciencias*, 12(2), pp. 255-277.

Millar, R. (1993). Students' understanding of voltage in simple series circuits. *International Journal of Science Education*, 5(3), pp. 339-349.

Moreira, M.A. y Greca, I. (2003). Cambio conceptual: análisis crítico y propuestas a la luz de la teoría del aprendizaje significativo. *Ciência y Educação*, 9(2), pp. 301-315.

Noh, T. y Scharmann, L.C. (1997). Instructional influence of a molecular-level pictorial presentation of matter on students' conceptions and problem-solving ability. *Journal of Research in Science Teaching*, 34(2), pp. 199-217.

Oliva, J.M. (1999). Algunas reflexiones sobre las concepciones alternativas y el cambio conceptual. *Enseñanza de las Ciencias*, 17(1), pp. 93-108.

Obach, D. (1995). El proyecto SATIS. *Alambique, (Graó Educación)* (3), pp. 39-44.

Perales, F.J. y CAÑAL, P. (2000). *Didáctica de las Ciencias Experimentales*. Alcoy: Marfil.

Peterson, R.F. y Treagust, D.F. (1989). Grade-12 students' misconceptions of covalent bonding and structure. *Journal of Chemical Education*, 66(6), pp. 459-460.

Peterson, R.F., Treagust, D.F. y Garnett, P. (1989). Development and application of a diagnostic instrument to evaluate grade-11 and -12

students' concepts of covalent bonding and structure following a course of instruction. *Journal of Research in Science Teaching*, 26(4), pp. 301-314.

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

Postner, G.S. *et al* (1982). Accommodation of scientific conception: towards a theory of conceptual change. *Science Education*, 66, pp. 211-227.

Pozo, J.I. (1996). No es oro todo lo que reluce ni se construye (igual) todo lo que se aprende: contra el reduccionismo constructivista. *Anuario de Psicología*, 69, pp. 127-139.

Pozo, J.I. (1997). *Teorías cognitivas del aprendizaje*. Madrid: Morata.

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

Psillos, D., Koumaras, P. y Tiberghien, A. (1988). Voltage presented as a primary concept in an introductory teaching sequence on DC circuits. *International Journal of Science Education*, 10(1), pp. 29-34.

Reif, F. y Larkin, J. (1991). Cognition in scientific and everyday domains: Comparison and learning implications. *Journal of Research in Science Teaching*, 28, pp. 733-760.

Rodrigo, M.J. (1997). Del escenario sociocultural al constructivismo episódico: un viaje al conocimiento escolar de la mano de las teorías implícitas. En Rodrigo, M.J. y Arnay, J. (comp.), *La Construcción del Conocimiento Escolar*, pp. 177-194. Barcelona: Paidós.

Rodríguez-Moneo, M. y Aparicio, J.J. (2004). Los estudios sobre el cambio conceptual y la enseñanza de las Ciencias. *Educación Química*, 15(3), pp. 270-280.

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

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

Rosado, L. (1987). *Problemas resueltos de Electrónica Física*. Madrid: UNED.

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

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

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

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

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

Rosado, L. y García Carmona, A. (2004b). Concepciones y dificultades de aprendizaje de estudiantes de Secundaria sobre el comportamiento eléctrico de los semiconductores y otros materiales. In *XXI Encuentros de Didáctica de las Ciencias Experimentales. La Didáctica de las Ciencias Experimentales ante las Reformas Educativas y Convergencia Europea*, pp. 273-280. San Sebastián: Universidad del País Vasco.

Rosado, L. y García Carmona, A. (2005a). Introducción a la Física de Semiconductores en la educación científica básica: primeros resultados. *Enseñanza de las Ciencias*, nº extra: VII Congreso Internacional sobre Investigación en la Didáctica de las Ciencias (Granada, España).

Rosado, L. y García Carmona, A. (2005b). Esquemas conceptuales de estudiantes de Secundaria sobre el comportamiento físico de semiconductores extrínsecos. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 22(3), pp. 338-363.

Rosenthal, A.S. y Henderson, C. (2006). Teaching about circuits at the introductory level: An emphasis on potential difference. *American Journal of Physics*, 74(4), pp. 324-328.

Salinas, J. (1994). *Las prácticas de Física básica en laboratorios universitarios*. Tesis Doctoral. Valencia: Universitat de Valencia.

Salinas, J., Colombo, L. y Jaen, M. (1995). Las concepciones epistemológicas de los docentes en la enseñanza de las ciencias prácticas. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 17(1).

Samaja, J. (1994). *Epistemología y metodología. Elementos para una teoría de la investigación científica*. Buenos Aires: Eudeba.

Santos, M.A. (1991). ¿Cómo evaluar los materiales didácticos? *Cuadernos de pedagogía*, 194, pp. 33-35.

Shipstone, D. (1985). Electricity in simple circuits. In Driver, R. Guesne, E. & Tiberghien, A. (Eds.), *Children's ideas in science*, pp. 33-51. London: Milton Keynes.

Shipstone, D. et al (1988). A study of student's understanding of electricity in five European countries. *International Journal of Science Education*, 10(3), pp. 303-316.

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

Solbes, J. y Vilches, A. (1995). El profesorado y las actividades CTS. *Alambique: Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 3, pp. 30-38.

Solís, E. y García Torres, A.R. (1997). *Física y Química*. Colección de Materiales Didácticos. Sevilla: ICE Universidad de Sevilla / Atril.

Stocklmayer, S. y Treagust, D.F. (1994). A historical analysis of electric current in textbooks: a century of influence on physics education. *Science & Education*, 3, pp. 131-154.

Suárez, L. (2001). El valor de la intuición en el aprendizaje de la Física. *Revista Española de Física*, 15 (4), pp. 48-50.

Taber, K.S. (2003). Understanding ionization energy: physical, chemical and alternative conceptions, *Chemistry Education Research and Practice*, 4, pp. 149-169.

Tsaparlis G. & Papaphotis, G. (2002). Quantum-chemical concepts: are they suitable for secondary students? *Chemistry Education Research and Practice*, 3, pp. 129-144.

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

Wheatley, G.H. (1991). Constructivist perspectives on Science and Mathematics learning. *Science Education*, 75(1), pp. 9-21.

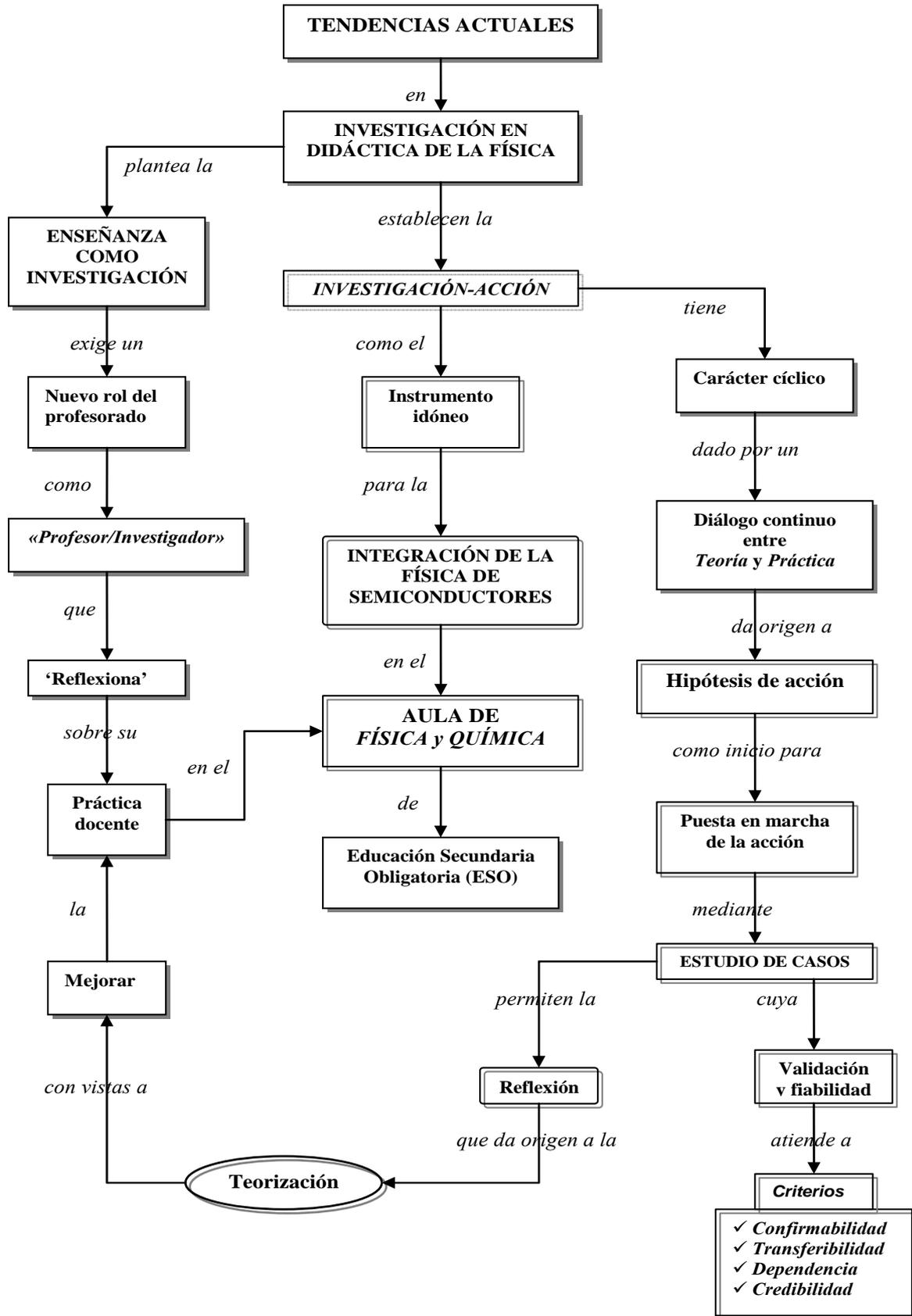
CAPÍTULO 3: LA INVESTIGACIÓN-ACCIÓN COMO INSTRUMENTO DE CONTROL Y REGULACIÓN DE LA ENSEÑANZA DE LA FÍSICA DE SEMICONDUCTORES

Resumen

En este capítulo se establece el marco teórico en el que se ha de circunscribir la metodología de investigación didáctica, que permite controlar y regular el proceso de enseñanza/aprendizaje de la Física de Semiconductores en la ESO. En la primera parte del capítulo, se hace una revisión de las últimas tendencias en investigación didáctica, entre las que se destaca la enseñanza de la Física como actividad investigadora, y la *reflexión sobre la práctica* como instrumento eficaz para el autodesarrollo profesional del profesorado. De la revisión, se concluye que la introducción de una innovación educativa en el aula ha de plantearse en el marco de una *investigación-acción*. En la segunda parte del capítulo, se analizan los aspectos esenciales de una investigación-acción educativa, y se examinan las principales características del proceso que tiene lugar en una investigación-acción. Finalmente, se revisan los procesos de validación y fiabilidad de una investigación-acción educativa, y los criterios específicos que se tendrán en cuenta en su aplicación.

Esquema/Sumario

1. Introducción
2. Tendencias actuales en investigación en didáctica de la física
 - 2.1. La enseñanza de la Física como actividad investigadora
 - 2.1.1. La investigación como desarrollo profesional del profesorado de Física
 - 2.2. Conexión entre la teoría y la práctica en la enseñanza de la Física
 - 2.2.1. La reflexión en la acción en la enseñanza de la Física
3. La investigación-acción como vía para la integración de la física de semiconductores en la ESO
 - 3.1. Caracterización de una investigación-acción
 - 3.1.1. El proceso de investigación-acción
 - 3.1.1.1. Hipótesis de acción
 - 3.1.2. Tipos de investigación-acción
 - 3.2. Validación y fiabilidad de una investigación-acción en educación
 - 3.2.1. Criterios de validación y fiabilidad en una investigación-acción
4. Referencias bibliográficas



1. Introducción

En el marco del nuevo Sistema Educativo, la mejora de la calidad en la *enseñanza de la Física* pasa por una formación adecuada del profesorado, en línea con las actuales tendencias en Didáctica de la Física y de materias afines (Rosado y Ayensa, 1999). La formación debe estar enfocada al desarrollo de una actitud reflexiva y autónoma del profesorado, que le lleve a cuestionar su práctica docente. Desde esta visión, la enseñanza se concibe como una actividad investigadora y la investigación como una actividad autorreflexiva, que realiza el profesorado con el propósito de mejorar su práctica.

Para Ontañón (1996), De la Rosa (2001) y Jiménez y Segarra (2001), el mejor lugar para la formación del profesorado es su propia aula. Por tanto, se trata de que el profesorado sea consciente de los problemas educativos que surgen en su clase y, a consecuencia de ello, adopte las decisiones oportunas. Las decisiones estarán encaminadas a diseñar, implantar y evaluar nuevas acciones que mejoren la práctica diaria del docente. En consecuencia, el profesorado de Física asumirá el rol de *profesor-investigador* de su *praxis*, con el abandono definitivo de la acción docente basada en la mera reproducción y transmisión de conocimientos ya elaborados, cuya ineficacia ha sido suficientemente contrastada.

Las nuevas directrices en investigación educativa rompen con la figura del profesorado como instrumento intermediario, que aplica técnicas elaboradas por expertos externos, y cuyos fundamentos y finalidad escapan a su conocimiento y control. En su lugar, se aboga por una investigación centrada en la reflexión sobre la complejidad, diversidad y riqueza dinámica de la vida del aula. Surge así la *investigación-acción*, que concibe el aula como un espacio de investigación y experimentación donde el investigador está implicado en la propia práctica docente. Hoy día, la *investigación-acción* es considerada como el instrumento idóneo para el control y regulación del proceso de enseñanza/aprendizaje en el aula, así como la metodología propicia para el autodesarrollo profesional del profesorado.

En sintonía con la visión actual de la investigación educativa, pensamos que la integración racional y progresiva de la Física de Semiconductores en el aula de Física y Química de la ESO, debe plantearse en el marco de una metodología donde confluyan, permanentemente, teoría/práctica e investigación/enseñanza. La metodología que aúna todos estos elementos, de forma integrada en un mismo proyecto, es la *investigación-acción educativa*. Por tanto, se hace necesario conocer en profundidad todos los conceptos y características esenciales de una *investigación-acción*, con el fin de diseñar un proyecto educativo eficaz.

En el capítulo, revisamos las principales características de las nuevas tendencias en investigación en Didáctica de la Física. Destacamos la enseñanza de la Física como actividad investigadora, y la reflexión sobre la práctica como instrumento eficaz para el autodesarrollo profesional del profesorado de Física. También incidimos en la necesidad de un diálogo permanente entre la teoría y la práctica educativas, con el fin de obtener una mayor eficacia en el proceso de enseñanza/aprendizaje. Todas estas ideas conducen a la *investigación-acción* como metodología idónea para desarrollarlas en el aula. Para ello, analizamos las principales características

del proceso que tiene lugar en una investigación-acción educativa. Finalmente, analizamos las particularidades de los procesos de validación y fiabilidad de una investigación-acción educativa, y profundizamos en los criterios específicos que deben ser considerados a la hora de planificar el proyecto.

2. Tendencias actuales en investigación en didáctica de la física

Las últimas tendencias en Didáctica de la Física y de materias afines, conciben el currículo escolar como una propuesta global, donde la actividad docente debe estar encaminada a buscar soluciones a los problemas surgidos en el aula, y cuyo punto de partida son las necesidades de perfeccionamiento manifestadas por el profesorado. La nueva visión de la Didáctica de la Física, y demás Ciencias, considera la actividad investigadora como un proceso inherente a la práctica docente. Desde esta perspectiva, la investigación didáctica ha de concebirse (Cañal *et al*, 1997): a) como un método orientado al diseño y evaluación de proyectos curriculares, b) como parte de la función del profesorado y, por tanto, un instrumento para el desarrollo y perfeccionamiento profesional, y c) como metodología didáctica del aprendizaje del alumnado.

A consecuencia de esto, el nuevo marco de investigación didáctica exige, para su adecuado desarrollo, el cuestionamiento de la práctica docente en cada situación educativa. Al hilo de esto, Cañal *et al* (1997) establecen un *modelo de investigación en la escuela*, cuyo fundamento tiene sus bases en los términos que se detallan a continuación:

✓ *Autonomía*. Es considerado como el objetivo fundamental de la Educación. Desde un enfoque *constructivo-interaccionista* del proceso de enseñanza/aprendizaje, es imprescindible que el alumnado viva continuamente situaciones que sean propicias para el desarrollo de su personalidad y conducta autónomas. Y es que el aprendizaje significativo (de cualquier índole) se origina tanto en ámbitos de autonomía individual y de grupo, como en ambientes fuertemente impregnados por las motivaciones intrínsecas de los alumnos.

✓ *Predisciplinarietàad e interdisciplinarietàad*. En los niveles básicos de enseñanza (ESO, fundamentalmente), la aproximación al conocimiento científico tendrá un carácter *predisciplinar*², dado de que no es posible que el alumnado base su aprendizaje en la lógica interna de la disciplina a estudiar (en este caso, la Física), que le resulta inaccesible a esas edades. Por su parte, el profesorado deberá establecer los lazos de colaboración *interdisciplinarias* (entre la Física y la Matemática, entre la Física y la Tecnología, o entre diferentes contenidos dentro de la Física) con el propósito de hacer factible el acercamiento al objeto de estudio que se va a integrar en el aula.

✓ *Comunicación*. La selección de la información debe suponer un principio didáctico. El aula, y los procesos que en ella tienen lugar, constituyen un sistema complejo caracterizado por un flujo continuo de

²El desarrollo de los contenidos se adapta a las ideas y formas de razonamientos de los adolescentes, con la finalidad de establecer el marco propicio para la construcción de los nuevos conocimientos (Tonucci, 1981, cit. en Cañal *et al*, 1997: 35).

información, que es intercambiado tanto dentro del aula como con el entorno. En efecto, los aprendizajes perseguidos se generan mediante una adecuada conexión entre los códigos comunicativos propios del saber científico y los utilizados por el alumnado en su comunicación cotidiana. En consecuencia, es preciso mostrar una atención especial a la detección de barreras comunicativas, que interfieran los procesos constructivos de investigación, y el desarrollo de estrategias orientadas a su superación.

✓ *Libertad y cooperación.* El interés por el estudio de la realidad escolar debe conformar un nuevo esquema de relaciones que establezca: a) la concreción de los derechos y deberes democráticos del alumnado y profesorado, b) la participación del alumnado en la toma de decisiones del proceso educativo, y c) nuevas formas de trabajo y de debate en el aula, fundamentadas en la cooperación y la búsqueda de consenso; de modo que las propuestas del profesorado serán aceptadas o no según el valor real que éstas posean desde el punto de vista del alumnado, y del grado de confianza depositado en éste, como experto en la facilitación del trabajo escolar.

✓ *Enfoque ambiental.* Se intenta romper con el aislamiento de la escuela con respecto al entorno sionatural del alumnado, y con la palabra del profesorado y del libro de texto como mediadores que canalizan todo el flujo de la información en el aula. En su lugar, se aboga por un currículo abierto y relacionado con el contexto del alumnado. La comprensión del medio y el desarrollo de las capacidades necesarias para actuar sobre él, serán, necesariamente, objetivos prioritarios de la Educación.

En síntesis, este modelo exige que el profesorado esté comprometido con el conocimiento. Para ello, ha de investigar, experimentar y utilizar el conocimiento adquirido, con el fin de comprender la situación del contexto, del Centro, del aula, de los grupos y de los individuos. Esto le permitirá, además, diseñar estrategias flexibles y adaptables a cada situación, cuya eficacia y bondad experimentará y evaluará permanentemente. Sólo así es posible solucionar los problemas, que plantea la realidad escolar compleja, singular y siempre cambiante.

Aun cuando estas corrientes renovadoras de la investigación educativa se han fraguado durante las dos últimas décadas, hasta no hace relativamente poco (principios de la década de los noventa), la enseñanza y la investigación educativa se han estado desarrollando por caminos separados, al igual que la teoría y la práctica. Según Latorre (2003), la separación ha sido causada por:

- La debilidad de las técnicas de investigación (su escasas precisión y exactitud), en la convicción de que la investigación está bien enfocada, pero necesita afinar sus herramientas de análisis.
- Una elección errónea de los problemas de investigación, debido a que quienes trabajan en la teoría tratan de responder a preguntas que no se han hecho los que trabajan en la práctica educativa.
- Diferencias conceptuales entre el profesorado y quienes investigan, originadas, sobre todo, por los intereses de los científicos en generar un conocimiento de carácter universal y válido experimentalmente, cuando el

que requiere y usa el profesorado es un conocimiento educativo validado en la práctica.

- La escasa atención que se ha prestado a la forma en la que los resultados de la investigación se vinculan a la práctica educativa.

Los aspectos anteriores caracterizan lo que se conoce como *investigación educativa tradicional*, cuyo enfoque ha estado inclinado más a crear las teorías sobre la educación que a mejorar la práctica educativa. Este enfoque ha propiciado, sin lugar a dudas, el distanciamiento entre los investigadores en educación y quienes están en la práctica docente.

En la actualidad, aun cuando se sigue practicando la investigación educativa tradicional, en los términos anteriormente citados, la concepción de enseñanza e investigación didáctica, como actividades integradas en una misma acción (la práctica docente), ha tomado un impulso en el ámbito de la Didáctica de la Física. Como señalan Rosado y Ayensa (1999),

Los profesores, que en el aula tenemos un laboratorio de primera mano, somos observadores idóneos de lo que ocurre en clase y, por tal motivo, somos "investigadores" del proceso de enseñanza/aprendizaje de los alumnos.

Con objeto de profundizar en lo que acabamos de exponer, en lo que sigue describimos las características esenciales del binomio «enseñanza-investigación didáctica», como elemento fundamental en Didáctica de la Física. Establecemos, para ello, las vías de aproximación entre la teoría y la práctica, y la importancia de la actividad investigadora en el desarrollo profesional del profesorado.

2.1. La enseñanza de la Física como actividad investigadora

Los resultados de las investigaciones realizadas en las dos últimas décadas, sobre los problemas de enseñanza y aprendizaje de la Física, ponen de manifiesto la presencia de numerosos factores que hacen compleja la tarea docente en esta disciplina. Como consecuencia de ello, la comunidad internacional del profesorado de Física considera que la tarea a desarrollar y los problemas a afrontar en la enseñanza de la Física, son los suficientemente complejos como para constituir un campo propio de investigación. Al respecto, Guisasola *et al* (2004) escriben:

Relacionar la práctica docente con la investigación, supone aceptar explícitamente la existencia de problemas en la enseñanza de la Física, lo que favorece la educación de una mentalidad abierta, una actitud reflexiva y una capacidad de autoanálisis y autocrítica.

La enseñanza de la Física se concibe hoy como una actividad investigadora, y la investigación como una actividad autorreflexiva, que la lleva a cabo el profesorado con el fin de mejorar su práctica docente. En consecuencia, la enseñanza de la Física, y demás Ciencias, pasa a ser un fenómeno social y cultural complejo, que es socialmente construido, interpretado y realizado por el profesorado. Un enfoque clarificador de la concepción de la enseñanza como investigación, es el que ofrece Stenhouse (1998), que es adaptable a la enseñanza de la Física:

El currículo (de Física) es el medio a través del cual el profesor aprende porque le permite probar las ideas mediante la práctica y, por tanto, confiar en su juicio y no en el de otros. La pretensión del currículo es traducir las ideas educativas en acciones educativas, y eso siempre es problemático. Los currículos son procedimientos hipotéticos que se rigen por las ideas e intenciones educativas que el profesorado prueba en el aula; no sólo se prueban los procedimientos, sino también las ideas que los guían.

Hoy día, la educación científica, al igual que los demás ámbitos de la educación, se concibe como una acción intencional que se rige por reglas sociales, y no por leyes científicas. Por este motivo, la enseñanza de la Física deja de ser una técnica, o un instrumento de aplicación de la teoría, para constituirse como un proceso reflexivo sobre la propia práctica docente, que conduce a una mayor comprensión del proceso educativo. Si se admite que la naturaleza de la enseñanza es compleja, resulta difícil comprender que investigadores externos a la escuela, en un corto periodo de tiempo, lleguen a entenderla y comprenderla, cuando los datos recogidos en una primera observación serán distintos a los recogidos en la siguiente. Al respecto, Schön (1992), con idea de criticar la investigación didáctica tradicional –que ignora la realidad de las aulas, debido a la disociación del investigador y del docente–, propone la siguiente metáfora:

[...] en la variopinta topografía de la práctica profesional existen unas tierras altas y firmes desde las que se divisa un pantano. En las tierras altas, los problemas fáciles de controlar se solucionan por medio de la aplicación de la teoría y la técnica sobre la base de la investigación. En las tierras bajas del pantano, los problemas confusos y poco claros se resisten a una solución única.

Por consiguiente, en el nuevo marco de la enseñanza de la Física, es necesario que la formación de los docentes esté encaminada a formar a un profesorado que, además de que posea los conocimientos adecuados sobre la materia a enseñar, investigue las causas de los logros y dificultades de aprendizaje en su propia aula. Sin embargo, en la actualidad todavía se está lejos de este objetivo; mientras la formación sea vista como una simple transmisión de contenidos de didáctica y de Física por separado, que deben ser articuladas en el aula por el profesorado, o como la presentación de una «receta mágica», que, si es seguida al pie de la letra, da como resultado un «mejor aprendizaje», todo el tiempo y esfuerzo invertidos serán estériles. En la medida en que la formación se ajuste a las necesidades de los docentes, retome sus experiencias y tenga en cuenta las características del trabajo en el aula, ésta tendrá mayor significado y será el camino para la introducción de cambios en la práctica diaria del profesorado de Física.

2.1.1. La investigación como desarrollo profesional del profesorado de física

Todos los argumentos que acabamos de exponer, han dado origen a un nuevo concepto del docente. Surge la figura del “profesor-investigador”, que prueba sus teorías educativas en el aula. La idea renovadora del profesorado como investigador, ha sido puesta en marcha, entre otros, por

Elliott en el *Ford Teaching Project*. El éxito del movimiento se resume en los dos puntos siguientes (Elliott, 2000):

- El abandono, por parte del profesorado, del papel consumista pasivo como "usuario" de materiales curriculares, por ejemplo, basados en la investigación de otras personas, para pasar a una posición activa de indagación dentro de su propia práctica.
- El profesorado comienza a definir por sí mismo un lenguaje, una metodología y un estilo de información más manejable, a través del cual tiene acceso a debates más teóricos.

La idea que subyace en la propuesta, iniciada por Elliott, es la de un profesorado con capacidad de reflexionar acerca de la práctica y, en consecuencia, adaptarse a las situaciones cambiantes del aula y de su contexto social.

En la nueva perspectiva docente, el profesorado de Física abandonará el papel de mero transmisor de conocimientos científicos ya elaborados, y pasará a ser un profesorado investigador, reflexivo, crítico e innovador de su práctica educativa. En esta línea, Latorre (2003) hace la siguiente reflexión sobre el papel del profesorado investigador:

El profesorado investigador cuestiona su enseñanza; innova, renueva, pone a prueba sus creencias, problematiza lo que hace con la finalidad de mejorar su práctica profesional. Reflexiona sobre su práctica, a veces utiliza la ayuda externa, recoge datos, los analiza, plantea hipótesis de acción, redacta informes abiertos a críticas, incorpora las reflexiones de modo sistemático, busca el perfeccionamiento contrastando hipótesis en el plano institucional. Las cuestiones de investigación surgen de la experiencia cotidiana, de las discrepancias entre lo que se pretende y lo que ocurre en clase.

Es un hecho incuestionable que con el nuevo rol del profesorado de Física, el Sistema Educativo le atribuye un papel decisivo en el logro de una educación y, sobre todo, de una alfabetización científica de calidad. En consecuencia, la investigación debe constituirse como un elemento imprescindible en el autodesarrollo profesional de los docentes. En esta línea, Stenhouse (1998) sostiene que la investigación educativa, al mismo tiempo que debe ser una metodología para resolver los problemas del aula, ha de concebirse como un modelo de formación continua; es decir, como un poderoso instrumento en el desarrollo profesional docente. En análoga línea de pensamiento, Jiménez y Segarra (2001) proponen los cursos-talleres como estrategias idóneas para la formación del profesorado de Física en el nuevo marco de investigación didáctica. Entre las directrices generales de este tipo de estrategias de formación, se destacan las siguientes:

1. Recuperar inquietudes, intereses y desconciertos de los participantes acerca de la enseñanza de la Física, con el fin de tratar de abordarlos dentro de las sesiones.
2. Incorporar información a través de exposiciones de los instructores, de las modelizaciones, de discusiones y de trabajos en equipo.

3. Diseño, por parte de los instructores y de los participantes, de estrategias de enseñanza en dos niveles; unas dirigidas al profesorado y otras al alumnado.
4. Realización, por parte del profesorado, de las actividades diseñadas en las propuestas didácticas.
5. Fomentar el trabajo en equipo en búsqueda de la complementariedad entre el profesorado.
6. Vivir técnicas de dinámica de grupos.
7. Motivar la reflexión en los participantes en relación con su labor diaria. Reconocer aciertos, errores u omisiones.
8. Valorar, de acuerdo con los ejes que definen la enseñanza de la Física, los productos de otros docentes, por ejemplo: metodologías de enseñanza, modelos de evaluación, diseños de propuestas didácticas, etc.
9. Diseñar estrategias propias de enseñanza/aprendizaje, a nivel del profesorado (guías didácticas) y del alumnado (propuesta de actividades), con el propósito de ponerlas en práctica para después hacer una valoración crítica de su eficacia.
10. Generar consenso con respecto a cómo enseñar Física en el actual Sistema Educativo, tanto desde la perspectiva de los contenidos propuestos como de las nuevas tendencias en educación.

2.2. Conexión entre la teoría y la práctica en la enseñanza de la física

Acabamos de decir que el autodesarrollo profesional del docente vendrá dado por la indagación continua en el aula, con el propósito de mejorar su práctica docente. Sin embargo, esta perspectiva de la práctica educativa es nueva habida cuenta que, tradicionalmente, la teoría y la práctica han coexistido separadas en la enseñanza de la Física. La teoría ha sido concebida como el elemento que ilumina a la práctica, que indica al profesorado cuál es el camino a seguir y cómo utilizar el conocimiento científico, con el objetivo de lograr los fines educativos eficazmente. Con todo, en los últimos años ha surgido un nuevo enfoque en la investigación didáctica, que considera a la teoría y a la práctica en estrecha unión y en evolución permanente. Desde este enfoque, *'teoría y práctica'* e *'investigación y enseñanza'* mantienen una relación próxima, dado que no es posible una práctica docente de calidad si no se apoya en los resultados de la investigación, de la misma manera que no es posible una investigación si no encuentra en la práctica educativa el espacio natural para indagar, analizar y aplicar sus resultados.

Whitehead (1989) sostiene que, en la medida en que la relación *'teoría-práctica'* sea sólida, el profesorado será capaz de construir una forma de *teoría educativa viva*, que diluya las fronteras entre la teoría y la práctica establecidas tradicionalmente. En este orden de ideas, Elliott (1993) propone un modelo de relación *'teoría-práctica'* en el que pasa de ver la práctica como espacio de aplicación de la teoría, a considerar que la *reflexión sobre la práctica* es lo que, realmente, revela la teoría inherente a la misma. La idea supone un cambio decisivo en la concepción del profesorado, puesto que así investiga sus propuestas educativas y, en

consecuencia, puede construir valiosas teorías de su práctica. Whitehead (1995, cit. en Latorre, 2003: 91), por su parte, plantea una estrategia global denominada *teorización*, que implica un diálogo entre la teoría y la práctica, y una reformulación continua de ambas. El proceso de *teorización*, donde teoría y práctica están en continua retroalimentación, es el fundamento de la *práctica creativa*.

2.2.1. La reflexión en la acción en la enseñanza de la Física

A la vista de lo expuesto antes, la enseñanza de la Física y materias afines se concibe desde una perspectiva epistemológica que propone la *reflexión en la acción* como el modo más adecuado de educar en Ciencias. Adoptando las ideas de Schön (1992), existen diversos rasgos que definen la epistemología de la *reflexión en la acción*, en el aula de Física:

- El profesor o profesora de Física es una persona práctica reflexiva.
- Ser profesor o profesora de Física implica ocuparse de redefinir situaciones problemáticas desde un enfoque práctico.
- El profesorado de Física desarrolla una mejor comprensión del conocimiento en la acción.
- Ser profesor o profesora de Física consiste en ser capaz de examinar y explorar nuevas situaciones.
- Una teoría y práctica, investigación y acción, saber y hacer.
- La práctica profesional del profesorado de Física se concibe como actividad investigadora.
- La investigación supone una conversación con la situación problemática en la que *saber* y *hacer* son dos cuestiones inseparables.

La reflexión en la acción se constituye, por tanto, como un proceso que capacita al profesorado para obtener una mejor comprensión del conocimiento en la acción docente. Amplía la competencia profesional de los prácticos, puesto que la reflexión en la acción faculta a los profesores y profesoras para comprender mejor las situaciones problemáticas, al mismo tiempo que les reconoce la habilidad de examinar y explorar las zonas indeterminadas de la práctica. Este enfoque de la práctica docente ha dado lugar a la *investigación-acción* como la metodología idónea para el desarrollo profesional del *profesor-investigador*. Según establece Latorre (2003),

De las metodologías que aporta la investigación educativa, [...] sin lugar a dudas, desde la profesionalización del docente, entendida ésta como el proceso a través del cual adquiere una formación epistemológica, teórica, metodológica, y estratégica para estudiar, comprender y transformar su práctica educativa, optamos por la investigación-acción.

No todas las metodologías de investigación están enfocadas a indagar la práctica profesional; todo dependerá de los objetivos y de las metas que se deseen alcanzar. En el caso del profesorado de Ciencias, la finalidad es mejorar, innovar y comprender los contextos educativos, teniendo como meta la calidad de la educación científica. En consecuencia, la *investigación-acción* se presenta como una investigación en la escuela y

desde la escuela, realizada por los docentes, con el propósito de dar respuesta puntual a las situaciones problemáticas que tienen lugar en el aula.

3. La investigación-acción como vía para la integración de la física de semiconductores en la ESO

La integración de la Física de Semiconductores en el currículo de Ciencias (Física y Química) de la ESO, es un proyecto que surge como consecuencia de una profunda reflexión de nuestra práctica docente. En concreto, intentamos establecer una formación científica de base (Física Básica de Semiconductores), que ayude a nuestro alumnado a afrontar adecuadamente el estudio de la Electrónica Básica en el área de Tecnología de la misma etapa educativa. En el capítulo anterior, definimos el marco curricular en el que circunscribimos la enseñanza de la Física de Semiconductores en el nivel de ESO. Si bien, también es preciso establecer la estrategia que permita su integración progresiva en el aula. A tenor de lo que hemos descrito en el epígrafe anterior, la *investigación-acción* es el instrumento idóneo para la aplicación y evaluación de cualquier innovación educativa en el aula.

La *investigación-acción educativa* puede tener diversos enfoques, en función de los aspectos que se deseen estudiar y mejorar en la práctica docente; no obstante, todos ellos tienen en común la identificación de estrategias de acción, que son sometidas a observación, reflexión y cambio. En lo que respecta a nuestro propósito, Membiela (2002) señala que la puesta en práctica de un proyecto didáctico de innovación debe desarrollarse en el marco de una investigación-acción, y ha de comenzar por la creación de un método, un procedimiento, un programa de enseñanza, etc., con el fin de mejorarlo y difundirlo posteriormente. En consecuencia, consideramos que esta metodología de investigación es el instrumento idóneo para diseñar, aplicar y evaluar la enseñanza/aprendizaje de los conceptos básicos de Física de Semiconductores en el nivel de ESO.

En lo que sigue, revisamos los aspectos esenciales de una investigación-acción educativa.

3.1. Caracterización de una investigación-acción

A la hora de planificar una investigación en Didáctica de la Física, se hace imprescindible definir la naturaleza de la investigación; es decir, es necesario establecer si su desarrollo se hará desde una perspectiva cuantitativa o cualitativa. La diferencia fundamental entre ambas metodologías estriba en que la cuantitativa estudia la asociación o relación entre variables cuantificadas, y la cualitativa lo hace en contextos estructurales y situacionales. Por tanto, mientras la *investigación cualitativa* (también denominada *investigación interpretativa*) trata de identificar la naturaleza profunda de una situación educativa y sus relaciones con el entorno en que se desarrolla, la *investigación cuantitativa* tiene como objetivo determinar el poder de asociación o correlación entre las variables definidas, la generalización y objetividad de los resultados, a través de una

muestra, con el fin de hacer inferencia (obtener conclusiones generales) de una población de la cual procede dicha muestra.

Dada las limitaciones que, por separado, presentan estas dos metodologías en la investigación educativa, actualmente se opta por un uso complementario de ambas. Si bien, de acuerdo con los propósitos y las características de la investigación que se desee desarrollar, cobrará mayor protagonismo una u otra metodología. En el caso de una *investigación-acción*, que se ejecuta en el seno de una situación educativa concreta, prevalecerá una metodología cualitativa. Esto obedece a que la investigación centrará su atención en aspectos relativos a la organización del aula, las relaciones entre los alumnos y con el profesor, y, en general, en los aspectos locales de los acontecimientos que tiene lugar en los grupos naturales que constituyen la clase.

No obstante, en una investigación-acción, también debe estar presente – aunque en menor medida– la metodología cuantitativa. Su uso se hará palpable a través del empleo de la Estadística Descriptiva; la cual estará destinada a caracterizar, de forma abreviada, los valores tomados por las variables definidas en el estudio. Asimismo, será preciso recurrir a pruebas de contraste de hipótesis, aunque su empleo presentará ciertas limitaciones.

Hay que tener presente que una investigación-acción plantea una indagación en el seno de un espacio educativo natural, sin que, por lo general, exista un proceso de muestreo. En consecuencia, una herramienta como el test de hipótesis, propia de la Estadística Inferencial (trata de hacer extensivos los resultados a toda la población representada por la muestra), en una investigación-acción, en ningún caso nos proporcionará conclusiones formales (científicas) más allá del límite del colectivo estudiado. Con el propósito de profundizar en esta cuestión, Susman y Evered (1989, cit. en Martín-Moreno, 1996: 342-343) establecen diez puntos de diferenciación entre la investigación científica formal y la *investigación-acción*:

1. La investigación científica (I-C) emplea métodos considerados neutrales, mientras que en la *investigación-acción* (I-A), los métodos empleados desarrollan sistemas sociales.

2. La I-C se basa en la observación del presente, en cambio la I-A combina la observación en el presente con la interpretación del presente, el conocimiento del pasado y la conceptualización de futuros más deseables.

3. En la I-C, el rol del investigador es el de espectador del fenómeno a estudiar, mientras que en la I-A, el investigador forma parte del 'fenómeno' a estudiar.

4. En la I-C, los casos tienen interés sólo en la medida en que representan poblaciones, en cambio, en la I-A los casos son en sí mismos objetos de conocimientos.

5. La I-C utiliza un lenguaje denotativo, es decir, observacional. En la I-A el lenguaje suele ser connotativo e, incluso, metafórico.

6. En la I-C, las unidades a estudiar existen independientemente de los seres humanos, mientras que en la I-A, se consideran elaboraciones humanas realizadas para propósitos humanos.

7. En la I-C, los objetivos epistemológicos se dirigen a la predicción de acontecimientos a partir de proposiciones organizadas jerárquicamente. En la I-A, los objetivos se dirigen al desarrollo de pautas con el propósito de implantar acciones que produzcan resultados deseados.

8. En la I-C, la estrategia para la construcción del conocimiento combina inducción y deducción, mientras que la I-A aplica la conjetura y la creación de marcos para modelar conductas.

9. En la I-C, la confirmación se obtiene mediante la consistencia lógica, la predicción y el control; en cambio, en la I-A, la confirmación se consigue evaluando si las acciones producen las consecuencias programadas en los objetivos de la investigación.

10. La I-C busca la generalización amplia, universal y libre de contexto, mientras que en la I-A, la generalización que se consigue es reducida, situacional y vinculada a un contexto.

El hecho de que los resultados de una *investigación-acción*, en Didáctica de la Física, no sean generalizables desde el punto de vista formal (científico), no significa que no sean útiles en otras situaciones educativas. En efecto, la observación llevada a cabo en una *investigación-acción* puede ser no sistemática y acientífica, pero ofrece garantías suficientes para ser considerada como un método cualitativo de indudable valor. Anguera (1983, cit. en Cañal *et al* 1997: 194) escribe que *“la observación alcanza la jerarquía de método científico y, por tanto, capacidad de descubrir y explicar el comportamiento, al obtenerse datos adecuados y fiables correspondientes a conductas, acontecimientos, y/o situaciones identificadas, e insertas en un contexto”*. Abundando en esta misma idea, McKernan (1988, cit. en Martín-Moreno Cerrillo, 1996: 342), señala que la investigación-acción contribuye al incremento del conocimiento y puede ser considerada como científica si se sitúa sobre una base epistemológica diferente de la que tiene la ciencia formal. Por tanto, los resultados de una *investigación-acción* serán suficientemente precisos en función de los objetivos formulados para la acción educativa, y en determinadas situaciones de clase. Surge así la *teorización*, que hace referencia a aquellas interpretaciones fundamentadas a partir de la práctica educativa, mediante una reflexión sistemática y crítica, que tienen como propósito mejorar dicha práctica en acciones sucesivas.

Elliott (1993) establece una serie de características de la *investigación-acción*, que se resumen en los puntos siguientes:

✓ *Se centra en el descubrimiento y la resolución de los problemas a los que se enfrenta el profesorado, con el fin de llevar a la práctica sus valores educativos.*

✓ *Supone una reflexión simultánea sobre los medios y los fines; de manera que los valores educativos se definen por las acciones concretas que selecciona el profesorado como medio para realizarlos. En este sentido, las actividades de enseñanza constituyen interpretaciones prácticas de los valores. Por tanto, al reflexionar sobre la calidad de su enseñanza, el profesorado debe hacerlo sobre los conceptos de valor que la configuran y moldean.*

✓ *Es una práctica reflexiva.* Como forma de autoevaluación, la *investigación-acción* consiste en que el profesorado evalúe las cualidades de su propio "yo" tal como se manifiesta en sus acciones. Con tal enfoque, esas acciones se conciben como prácticas morales más que como simples expresiones técnicas. En el contexto de una práctica moral, la autoevaluación supone un tipo determinado de autorreflexión: la *reflexividad*.

✓ *Integra la teoría en la práctica.* Las teorías educativas se consideran como sistemas de valores, ideas y creencias representadas no tanto en forma proposicional como de práctica. Esas teorías se desarrollan a través del proceso reflexivo sobre la práctica. El desarrollo de la teoría y la mejora de la práctica se consideran procesos interdependientes.

✓ *Supone un diálogo con otros profesionales.* En la medida en que el profesorado trata de poner en práctica sus valores profesionales mediante la *investigación-acción*, se hace responsable de los resultados ante sus compañeros. Esa responsabilidad se expresa en la elaboración de expedientes que documenten los cambios habidos en la práctica y los procesos de deliberación y reflexión que dan lugar a los cambios.

A la vista de lo que establece Elliott, se concluye que la esencia de una *investigación-acción* no es tanto la generación de conocimiento como el hecho de cuestionar las prácticas educativas, y los valores que las integran, con la intención de explicitarlos. Al respecto, Pérez Gómez (1990; incluido en Elliott, 2000: 12) escribe:

La práctica didáctica (en el marco de la investigación-acción) se justifica, no en la medida en que consigue unos determinados y homogéneos resultados observables a corto plazo en el aula, sino en la medida en que facilita y promueve un proceso de trabajo e intercambios en el aula, y en el centro donde se realizan, los valores que se consideran educativos por la comunidad humana.

Por tanto, la *investigación-acción* se constituye como un instrumento poderoso para reconstruir las prácticas y los discursos educativos. En este sentido, sus propósitos serán (Latorre, 2003):

- Mejorar y/o transformar la práctica educativa, al mismo tiempo que procurar una mejor comprensión de dicha práctica.
- Articular de forma permanente la investigación, la acción y la formación.
- Aproximarse a la realidad, vinculando el cambio al conocimiento.
- Hacer protagonistas de la investigación al profesorado.

3.1.1. El proceso de investigación-acción

A la hora de planificar una *investigación-acción*, es preciso tener en cuenta que no consiste en una investigación ni en una acción, ni siquiera en la intersección de ambas, sino en un bucle recursivo y retroactivo de investigación y de acción. Desde este enfoque, la *investigación-acción* debe ser considerada como una metodología que persigue a la vez resultados de acción e investigación, a partir del diálogo de ambas. Por tanto, se concibe

como un *proyecto de acción* formado por *estrategias de acción*, supeditadas a las necesidades del profesorado investigador. De tal modo que su puesta en práctica consiste en un proceso que se caracteriza por su carácter cíclico, que implica una '*espiral dialéctica*' entre la acción y la reflexión, de forma que ambos momentos quedan integrados y se complementan. En consecuencia, la investigación-acción es una espiral de ciclos de investigación y de acción constituidos por las siguientes fases: *planificar, actuar, observar y reflexionar*.

Normalmente, para lograr el potencial total de mejora y cambio, un ciclo de investigación-acción no es suficiente. No obstante, la implantación satisfactoria de un plan de acción puede llevar más tiempo del que realmente se dispone, cuando la experiencia es de envergadura; por tanto, en ocasiones, el *proyecto de investigación-acción* consta de un solo ciclo.

Para Escudero (1990), el diseño de un *proyecto de investigación-acción* debe articularse en torno a las siguientes fases:

1. *Identificación inicial de un problema*, tema o propósito sobre el que indagar.
2. *Elaborar un plan estratégico razonado de actuación*: crear las condiciones para llevarlo a la práctica y realizarlo, controlar el curso, las incidencias, consecuencias y resultados de su desarrollo.
3. *Reflexionar críticamente sobre lo sucedido*, e intentar elaborar una teoría situacional y personal de todo el proceso (*teorización*).

Latorre (2003), profundizando en los puntos anteriores, matiza lo siguiente con respecto al proyecto de investigación-acción:

- a) El proyecto incluirá la revisión o diagnóstico del problema, o idea general de investigación.
- b) La acción estará referida a la implantación del plan de acción.
- c) La observación incluirá una evaluación de la acción a través de métodos y técnicas apropiados.
- d) La reflexión significará recapacitar sobre los resultados de la evaluación y sobre la acción llevada a cabo, lo que permitirá identificar un nuevo problema o problemas y, en consecuencia, a un nuevo ciclo de planificación, acción, observación y reflexión.

Los aspectos señalados, tienen como finalidad orientar al profesorado investigador a desarrollar su proyecto de investigación-acción; no obstante, un proyecto de estas características, donde la práctica es el núcleo central de la indagación, debe desarrollarse y ajustarse a la situación personal de cada profesor o profesora. En este sentido, McNiff *et al* (1996, cit. en Latorre, 2003: 40) sugieren que, antes de iniciar un *ciclo de investigación-acción*, se reflexione sobre los siguientes aspectos:

✓ *Revisar nuestra práctica*. Plantear un proyecto de investigación siempre supone revisar o cambiar nuestra práctica con el fin de mejorarla. Implica que nuestros valores educativos pueden ser cuestionados y problematizados.

✓ *Identificar un aspecto que queremos mejorar, o innovar, en el aula.* Estas son algunas de las preguntas que los investigadores en la acción se hacen: ¿Cómo puedo mejorar mi práctica? ¿Cómo puedo introducir estos nuevos elementos educativos en mi aula? ¿Cómo puedo mejorar mi comprensión de esta situación?

✓ *Imaginar la solución.* El investigador siempre tiene que imaginar y elaborar un plan de acción donde se recoja su propuesta de mejora, cambio o innovación.

✓ *Implantarla.* Una vez ideado el plan de acción, el investigador tiene que llevarlo a la práctica y, a la vista de ésta, ver si resulta como se imaginaba.

✓ *Registrar lo que ocurre.* El rigor que supone una investigación de esta naturaleza, requiere del registro de lo que ocurre y de los efectos que los cambios generan en la situación.

✓ *Modificar el plan a la luz de los resultados y continuar con la acción.* Una vez que se han logrado unas evidencias que confirman la mejora de la práctica, se está en condiciones de llevarlas a la práctica.

✓ *Controlar la acción.* Las acciones implantadas por el investigador deben ser controladas mediante técnicas de recogida de datos. La observación tiene que controlar siempre lo que ocurre con las acciones que se implantan en el plan de acción.

✓ *Evaluar la acción realizada.* Hay que reflexionar y evaluar los resultados; ver qué cambios o mejora se han producido, así como las ventajas y los inconvenientes de cada uno.

✓ *Continuar hasta lograr la mejora o cambio pretendido.* Como se viene diciendo, la investigación-acción es un proceso cíclico progresivo, que procede paso a paso en busca de la mejora y, por tanto, de una mejor calidad de la enseñanza.

Finalmente, es conveniente matizar que, siempre que sea posible, la *investigación-acción* debe realizarse en grupo, porque trabajar en grupo comporta un enriquecimiento mutuo entre los integrantes del mismo. En el caso de que tenga que hacerse la investigación individualmente, es importante implicar a otras personas. Hay que tener presente que la *investigación-acción* tiene como principal protagonista al profesor o profesora que la diseña, si bien es hecha con vistas a ser un referente de la práctica educativa para otros contextos, además de donde se realiza. Por ello, será necesario enriquecer el trabajo que se desarrolle mediante diferentes puntos de vista. Estas otras visiones vendrán dadas por alguna/s de las siguientes personas:

- ✓ Las personas que participan (el alumnado).
- ✓ El amigo crítico o amiga crítica.
- ✓ Una persona dispuesta a compartir la discusión del trabajo críticamente.
- ✓ El director o tutor, en el caso de que alguien le dirija la investigación.
- ✓ Algunos colegas del centro de trabajo.

✓ El grupo de validación (grupo de colegas que contribuyen a validar o hacer creíbles los datos).

3.1.1.1. Hipótesis de acción

Hemos dicho que la *investigación-acción* es un tipo de investigación relacionada con los problemas prácticos y cotidianos de los profesores, de tal modo que su aplicación está orientada a interpretar lo que ocurre en la enseñanza desde el punto de vista de los actores implicados, empleando su mismo lenguaje. Asimismo, permite la posibilidad de generar teoría desde el "sentido común" (*teorización*), y no desde el punto de vista científico, mediante una generalización formal de los resultados. Desde esta perspectiva, la *investigación-acción* se caracteriza por ser un proyecto de desarrollo en el aula; con lo cual, requiere de una acción educativa como parte integrante del proceso mismo de la investigación (no sólo se trata de recopilar unos datos y analizarlos).

Una *investigación-acción*, en lugar de intentar demostrar, trata de mostrar la plausibilidad de una hipótesis. Esto es, frente a la forma proposicional de formular las hipótesis tradicionales, encaminadas a la explicación y relación entre variables, la *investigación-acción* propone una forma de plantear hipótesis basada en una especie de diálogo, a través de preguntas y respuestas. Elliott (1993) indica que la formulación de una hipótesis de trabajo se planteará mediante un enunciado que relacione una pregunta (planteamiento del problema) con una de sus posibles respuestas (acción pertinente para la resolución del problema). En otras palabras, se ha de establecer una *hipótesis de acción*, cuya proposición induzca a la puesta en marcha de cierta medida didáctica y/o metodológica en el aula. Por ejemplo, si deseamos acometer una *investigación-acción* con los alumnos de 3º de ESO, porque hemos detectado un escaso rendimiento en Física y Química, una posible *hipótesis de acción* se formularía de la siguiente manera: "*¿Cómo podría mejorar el rendimiento de mis alumnos de 3º de ESO en clases de Física y Química?: A través del aprendizaje cooperativo*". Por consiguiente, se trata de plantear hipótesis mediante formas "vivas" de preguntas y respuestas.

3.1.2. Tipos de investigación-acción

Dada la complejidad y diversidad de problemas que surgen en las aulas a diario, indudablemente cada situación educativa requiere un tratamiento concreto y, en consecuencia, un planteamiento de *investigación-acción* particular. Habitualmente se distinguen tres tipos de investigación-acción en educación: *técnica*, *práctica* y *crítica emancipadora*, que corresponden a tres visiones de esta metodología (Latorre, 2003):

- La *investigación-acción técnica*, cuya finalidad es mejorar la eficacia de las prácticas educativas. Se desarrolla mediante la participación del profesorado en programas de trabajo, diseñados por expertos, donde se prefijan los propósitos y el desarrollo metodológico que hay que seguir.
- La *investigación-acción práctica* otorga un protagonismo activo y autónomo al profesorado, siendo éste quien selecciona los problemas de investigación y quien realiza el control del propio proyecto. Para ello, puede

reclamarse la asistencia de un investigador externo, de otro colega, o, en general, de un *'amigo crítico'*. Son procesos dirigidos al desarrollo de aquellos valores intrínsecos a la práctica educativa, y la persona experta es un consultor del proceso, que participa en el diálogo con el fin de apoyar la cooperación de los participantes, la participación activa y las prácticas educativas.

- La *investigación-acción crítica emancipadora*, incorpora las ideas de la teoría crítica. Se centra en la práctica educativa, con objeto de profundizar en la *emancipación* del profesorado (sus objetivos, prácticas rutinarias, creencias,...), a la vez que trata de vincular su acción a las coordenadas educativas y contextuales en las que se desenvuelven, así como ampliar el cambio a otros ámbitos educativos. Se esfuerza por cambiar las formas de trabajar, constituidas por el discurso, la organización y las relaciones de poder.

A la vista de los tipos de investigación-acción descritas, el marco idóneo para la integración de la Física de Semiconductores en el currículo de Ciencias (Física y Química) de la ESO, es el de una *investigación-acción práctica*. Su planteamiento en el aula tendrá como finalidad el diseño, aplicación y evaluación de una propuesta didáctica, sobre nociones básicas de Física de Semiconductores, mediante el *estudio de casos*. Elliott (2000) considera que el estudio de casos proporciona el contexto idóneo para desarrollar tanto una teoría parcial del caso, como los constructos teóricos de una disciplina mediante la práctica. Desde esta perspectiva, la *investigación-acción práctica* concede un protagonismo activo y autónomo al profesor, siendo éste quien diseña, desarrolla y evalúa su propio proyecto de investigación. La participación de un investigador externo, o "amigo crítico", actúa como consultor del proceso, aportando las sugerencias pertinentes para el buen desarrollo de la experiencia.

3.2. Validación y fiabilidad de una investigación-acción en educación

Hemos indicado que la *investigación-acción* en educación tiene como finalidad mejorar la práctica educativa de una situación real y concreta en el aula; de modo que su aplicación se ha de llevar a cabo en un escenario natural de la práctica docente. Por este motivo, el grupo estudiado (alumnado que compone la clase donde se desarrolla la investigación), generalmente, no se ve sometido a un procedimiento severo de muestreo estadístico. Se dice, entonces, que es un *muestreo accidental*, en tanto que la muestra se elige, normalmente, por el fácil acceso del profesor-investigador al alumnado con el que desarrolla su experiencia didáctica. Esto hace que la muestra no sea estadísticamente representativa; es decir, que no sirve para obtener resultados generalizables a otras muestras (otros contextos educativos) de la misma población (todos los alumnos del nivel educativo correspondiente). En consecuencia, los resultados obtenidos en una *investigación-acción* carecen de *validez externa*, es decir, sus resultados sólo son aplicables a una determinada situación educativa. En cambio, el diseño de la investigación-acción sí ha de ofrecer garantías acerca de su *validez interna*. Ésta hace referencia al grado en que se demuestra la relación de causalidad entre las variables (dependientes e independientes) definidas en el estudio. La validez interna vendrá

determinada, de una parte, por los instrumentos de recogida de datos empleados (cuestionarios, cuadernos de los alumnos, diario del profesor, grabaciones en vídeo,...), y, de otra, por las herramientas estadísticas utilizadas en el contraste de las hipótesis establecidas.

Dado que el instrumento de recogida de información es uno de los elementos más importantes en el diseño de una investigación, también es preciso distinguir –dentro de la validez interna– otros dos tipos de validez (Rosado y Ayensa, 2000): *validez de constructo* y *validez de contenido*.

La validez de constructo hace referencia a la existencia o no de relación entre lo que se evalúa y lo que se desea evaluar. Para ello, es habitual tomar como referencia otros instrumentos de medida utilizados en investigaciones similares precedentes, cuya validez haya sido comprobada favorablemente.

En relación con la validez de contenido, se incidirá en garantizar la relevancia y la significatividad de las conductas observadas; es decir, se hará referencia a la coherencia con la que se establecen los contenidos del tema en el instrumento de la investigación, a fin de obtener la mejor información. Si no se cuenta con una sólida experiencia investigadora, será necesario solicitar el asesoramiento de algún experto en la materia a investigar. Esto permitirá al profesor-investigador diseñar el instrumento de medición más adecuado, con la garantía suficiente de que obtendrá información precisa de los aspectos más relevantes de la investigación.

Otro aspecto importante, a tener en cuenta en el diseño de una investigación didáctica, es su grado de *fiabilidad*. Se distinguen dos tipos (Padilla, 2002): a) la fiabilidad interobservadores, que atiende al grado de concordancia entre los datos proporcionados por dos o más observadores que, de manera independiente, hacen la investigación; y b), la fiabilidad intraobservador, que hace referencia a la concordancia de los datos obtenidos por un mismo observador, en dos momentos diferentes, con los mismos individuos. En relación con esta última, es necesario destacar que por la complejidad de la investigación educativa, donde surgen numerosos aspectos subjetivos, relacionados con la conducta de los alumnos, no es posible reproducir de forma idéntica los resultados en dos ocasiones.

3.2.1. Criterios de validación y fiabilidad en una investigación-acción

Después de revisar los criterios generales de validez y fiabilidad, es conveniente precisar que, en la forma en que han sido descritos, son difícilmente aplicables a una investigación-acción. Esto es debido, por una parte, a que la información recogida es de tipo cualitativo, con lo cual cobran especial relevancia los aspectos subjetivos; y, por otra, a que no se persigue una generalización formal (desde la perspectiva de la Estadística Inferencial) de los resultados a otras situaciones educativas, sino conseguir una información orientada a mejorar la práctica docente de quien realiza la investigación (Rosado y García Carmona, 2005). Como consecuencia de esto, algunos autores (Lincoln y Guba, 1985; cit, en Padilla, 2002: 116, y en Latorre, 2003: 91) han tratado de adaptar los criterios tradicionales de validez y fiabilidad a la investigación cualitativa –por tanto, aplicables a la investigación-acción en Didáctica de la Física–, proponiendo los criterios

alternativos siguientes: *criterio de credibilidad, criterio de transferibilidad, criterio de dependencia y criterio de confirmabilidad.*

El *criterio de credibilidad* tiene como finalidad analizar la correspondencia entre los datos recogidos por el investigador y la realidad del aula. Para ello, se recurre a diferentes procedimientos: a) la *observación persistente o prolongada*, que permite al observador comprobar los prejuicios propios y de los alumnos, a fin de concretar la investigación y aportarle mayor verosimilitud; b) la *triangulación*, que permite comparar y someter a contraste la información sobre una situación educativa, observada desde distintas perspectivas; c) el *intercambio de opiniones* con otros investigadores; d) la *recogida de material referencial*, como son vídeos, documentos o grabaciones, con el propósito de hacer una comparación con el desarrollo de nuestra investigación; y, por último, e) las *comprobaciones con los participantes*, que tienen por objeto evitar errores y conseguir más información sobre los puntos oscuros de la investigación, llevando a cabo revisiones y comprobaciones con los alumnos observados. Por ejemplo, si deseamos valorar el aprendizaje de los alumnos sobre un tema determinado de Física, a través de cierto programa-guía de actividades, es conveniente comprobar si están preparados para trabajar el modelo de actividades propuestas. En tal caso, será beneficioso para la investigación que los alumnos se familiaricen, previamente, con ese tipo de actividades.

El *criterio de transferibilidad* es el criterio alternativo al de *generabilidad* o *aplicabilidad* definidos habitualmente en la investigación cuantitativa. Hace referencia al grado en que son aplicados los resultados de una investigación a otros contextos educativos. En la investigación-acción, Elliott (2000) establece que los resultados obtenidos en un estudio de caso, en lugar de intentar aplicarlos literalmente a otras situaciones educativas, deben ser considerados como fuente de reflexión y orientación a otros profesores y profesoras, con vistas a plantear sus propias investigaciones prácticas con su alumnado.

El *criterio de dependencia* hace alusión a la *estabilidad de los datos* y a la posibilidad de obtener los resultados similares (no idénticos) cuando se repite el estudio con los mismos alumnos, o con otros de contextos educativos similares. Las estrategias que se emplean para garantizar este criterio son: 1) establecer los medios para la revisión de los procedimientos seguidos, a fin de conseguir una réplica aplicable a otro contexto; 2) crear una *auditoría de dependencia*, que consiste en una revisión del proceso de investigación por investigadores externos; y 3) aplicar los *métodos solapados*, donde se emplean varios métodos y procedimientos en la recogida de información, a fin de tener diferentes perspectivas en el análisis de los datos; por ejemplo, comparar los resultados de observación obtenidos a través del diario del profesor con una grabación en vídeo de las sesiones de clase.

Por último, el *criterio de confirmabilidad* se corresponde con el criterio tradicional de *objetividad*. Permite comprobar si los resultados de la investigación están o no sesgados por motivaciones, intereses o perspectivas del investigador. Se trata, por tanto, de confirmar si la interpretación obtenida se corresponde con la información que ofrecen los resultados. Esto es validado a través de: 1) una *auditoría de*

confirmabilidad, en la que un auditor externo comprueba la correspondencia de los datos y las interpretaciones y conclusiones obtenidas; 2) los *descriptores de baja inferencia*: consiste en procurar registrar los datos del estudio de la forma más precisa posible (aspecto importante cuando se investiga las respuestas de los alumnos ante cuestiones o problemas abiertos), si es necesario, mediante su transcripción textual; y, por último, 3) los *ejercicios de reflexión* sobre la acción.

4. Referencias bibliográficas

Alanís, A. (2000). Estrategias docentes y estrategias de aprendizaje. *Contexto Educativo*, 10. En: <http://www.contexto-educativo.com.ar/2000/8/nota-09.htm>.

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

Best, D. W (1982). *¿Cómo investigar en educación?* Madrid: Morata.

Cañal, P. et al (1997). *Investigar en la escuela: elementos para una enseñanza alternativa*. Sevilla: Díada.

Cordero, S. et al (2002). ¿Y si trabajan en grupo...? Interacciones entre alumnos, procesos sociales y cognitivos en clases universitarias de Física. *Enseñanza de las Ciencias*, 20(3), pp. 427-441.

De La Rosa, A. (2001). Una oportunidad para la formación en centros. *Andalucía Educativa*, 28, pp. 30-35.

Domínguez, J.M., De Pro, A. y García-Rodeja, E. (2003). Esquemas de razonamiento y de acción de alumnos de ESO en la interpretación de los cambios producidos en un sistema material. *Enseñanza de las Ciencias*, 21(2), pp. 199-214.

Elliott, J. (1993). *El cambio educativo desde la investigación-acción*. Madrid: Morata.

Elliott, J. (2000). *La investigación-acción en educación* (4ª ed.). Madrid: Morata.

Escudero, J.M. (1990). Tendencias actuales en la investigación educativa: los desafíos de la investigación crítica. *Curriculum*, 2, pp. 3-25.

Fernández, J., et al (2002). *¿Cómo hacer unidades didácticas innovadoras?* (2ª ed.). Sevilla: Díada.

Galagovsky, L.R. (2004). Del aprendizaje significativo al aprendizaje sustentable. Parte I: El modelo teórico. *Enseñanza de las Ciencias*, 22(2), pp. 229-240.

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

Gil, D. et al (1999). ¿Puede hablarse de consenso constructivista en la educación científica? *Enseñanza de las Ciencias*, 17(1), pp. 503-512.

Granado, C. y Murillo, J. (1996). La formación del profesorado. Evolución y perspectivas. *Título abierto*, 2, pp. 7-20.

Guisasola, J. *et al* (2004). La enseñanza universitaria de la Física y las aportaciones de la investigación en Didáctica de la Física. *Revista Española de Física*, 18(2), pp. 15-16.

Jiménez, E. y Segarra, M.P. (2001). La formación de formadores de Bachillerato en sus propios centros docentes. *Enseñanza de las Ciencias*, 2001, 19(1), 163-170.

Latorre, A. (2003). *La investigación-acción. Conocer y cambiar la práctica educativa*. Barcelona: Graó.

Martín-Moreno, Q. (1996). *La Organización de Centros Educativos en una Perspectiva de Cambio*. Madrid: Sanz y Torres.

Mateo, M. J. y García Ferrando, M. (1993). *Estadística aplicada a las Ciencias Sociales*. Madrid: UNED.

Membiela, P. (2002). investigación-acción en el desarrollo de proyectos curriculares innovadores de Ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 20(3), pp. 443-450.

Ontañón, E. (1996). La vida en la escuela. *Vela Mayor*, 9, pp. 49-57.

Padilla, M. T. (2002). *Técnicas e instrumentos para el diagnóstico y la evaluación educativa*. Sevilla: CCS.

Perales, F.J. y Cañal, P. (2000). *Didáctica de las Ciencias Experimentales*. Alcoy: Marfil.

Pérez Gómez, A. (1993). La interacción teoría-práctica en la formación del docente. En Montero, I. y Vez, J. M., *Las didácticas específicas en la formación del profesorado*. Santiago de Compostela: Tórculos.

Pita Fernández, S. y Pértegas, S. (2002). Investigación cuantitativa y cualitativa. *Cad. Aten. Primaria*, 9, pp. 76-78.

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

Rivas, F. (1997). *El proceso de Enseñanza/Aprendizaje en la situación educativa*. Barcelona: Ariel.

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

Rosado, L. y Ayensa, J.M. (2000). Diseño y validación de cuestionarios en investigación en Didáctica de la Física. En Rosado, L. y Cols. (Eds.), *Didáctica de la Física y sus Nuevas Tendencias (Manual de 2000)*, pp.11-120. Madrid: UNED.

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

Rosado, L. y García Carmona, A. (2005a). La investigación-acción como marco para la mejora de la práctica docente en Física y materias afines. En Rosado, L. y Cols. (Eds.), *Didáctica de la Física y sus Nuevas Tendencias (Manual de 2005)*, pp. 393-448. Madrid: UNED.

Rosado, L. y García Carmona, A. (2005b). Uso de la Estadística en Investigación en Didáctica de la Física. Un estudio de caso de investigación-acción. En Rosado, L. y Cols. (Eds.), *Didáctica de la Física y sus Nuevas Tendencias (Manual de 2005)*. Madrid: UNED.

Rosado, L. y Herreros, J.R. (2003). Diseño y validación de instrumentos de investigación en Didáctica de la Física y materias afines. En Rosado, L. y Cols. (Eds.), *Didáctica de la Física y sus Nuevas Tendencias (Manual de 2003)*, pp. 425-456. Madrid: UNED.

Schön, D.A. (1992). *La formación de profesionales reflexivos. Hacia un nuevo modelo de la enseñanza y del aprendizaje en los profesionales*. Barcelona: Paidós/MEC.

Sierra Bravo, R. (2001). *Técnicas de Investigación Social (14ª ed.)*. Madrid: Paraninfo.

Stenhouse, L. (1998). *Investigación y desarrollo del currículo*. Madrid: Morata.

Suárez Pazos, M. (2002). Algunas reflexiones sobre la investigación-acción colaboradora en la educación. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 1(1). En: <http://www.saum.uvigo.es/reec>.

Tiberghien, A., Leonard, E. y Barojas, J. (1998). *Connecting research in Physics education with teacher education*. International Commission on Physics Education (ICPE).

Whitehead, J. (1989) Creating a living educational theory from questions of the kind, "how do I improve my practice?". *Cambridge Journal of Education*, 19(1).

En: <http://www.bath.ac.uk/~edsajw/writings/livtheory.html>.

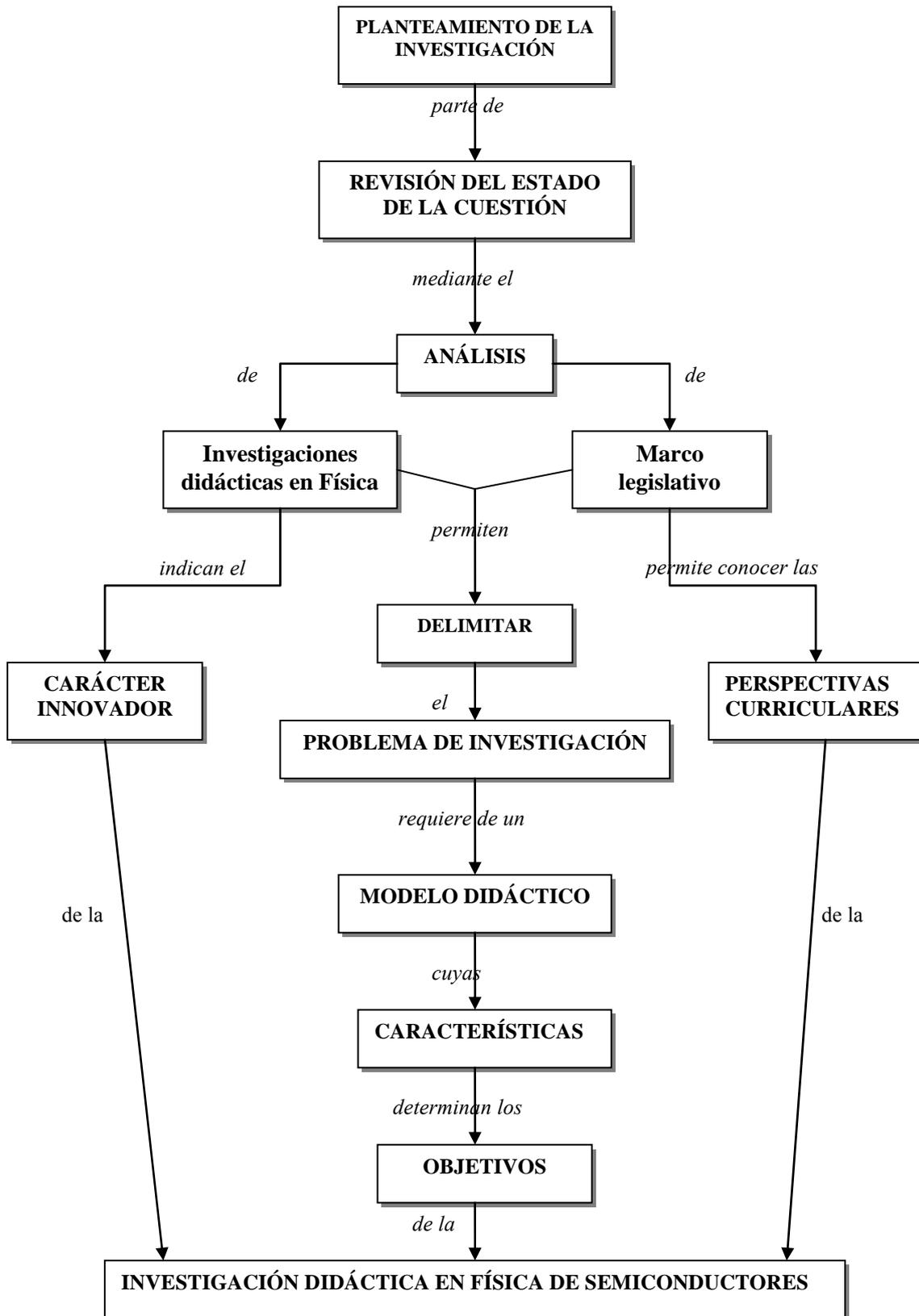
CAPÍTULO 4: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y OBJETIVOS DE UNA INVESTIGACIÓN DIDÁCTICA EN FÍSICA DE SEMICONDUCTORES

Resumen

Se plantea, de forma explícita, el problema central de la investigación. A través de éste, se cuestiona la posibilidad de elaborar un modelo didáctico, con enfoque constructivista, que haga factible la integración de nociones de Física de Semiconductores en el currículo de Ciencias (Física y Química) de la ESO. En primer lugar, se revisa el estado actual de la cuestión mediante un análisis exhaustivo de: a) el currículo oficial de Física y Química de la ESO, con idea de valorar qué posibilidades presenta para la introducción de la Física de Semiconductores; b) la situación de la Electrónica en el currículo de Física de Secundaria en otros países como Francia, Reino Unido, Israel y Finlandia, que son referentes importantes en innovación educativa. Posteriormente, se concreta el problema mediante diversos interrogantes y se describen las características esenciales que debe tener el modelo didáctico que se proponga para la investigación: 1) que fomente el aprendizaje autónomo del alumnado y un hábito de autorregulación del aprendizaje; 2) que presente un carácter abierto y adaptable a las características del alumnado; y 3) que sea susceptible de ser aplicado y evaluado en el marco de una investigación-acción práctica en el aula. Finalmente, se formulan los objetivos generales y específicos que han de guiar el desarrollo de la investigación.

Esquema/Sumario

1. Introducción
2. Revisión del currículo de física y química de la ESO y perspectivas para la integración de la física de semiconductores
 - 2.1. La integración de nociones de física de semiconductores en la ESO como innovación didáctica en España
3. Planteamiento general del problema y objetivos
 - 3.1. Planteamiento del problema a investigar
 - 3.2. Objetivos generales de la investigación
 - 3.2.1 Objetivos específicos
4. Referencias bibliográficas



1. Introducción

En el capítulo 1, expusimos la necesidad educativa de proporcionar a los jóvenes una formación básica e integral en Electrónica, desde los niveles básicos de enseñanza, con el fin de que afronten con éxito los retos de una sociedad científica y tecnológicamente avanzada. Destacamos la dimensión científica de la Electrónica y, como consecuencia de ello, dimos razones epistemológicas y didácticas que justifican la integración de nociones de Física de Semiconductores en el currículo de Ciencias (Física y Química) de la Educación Secundaria Obligatoria (ESO). Sobre la base de la fundamentación teórica, descrita en los capítulos precedentes, nos cuestionamos la posibilidad de elaborar un modelo didáctico, coherente con el paradigma constructivista, que haga factible la integración de nociones de Física de Semiconductores en clase de Física y Química de la ESO. Para ello, analizamos el estado actual de la cuestión mediante una revisión bibliográfica del tema, tanto a escala nacional como internacional. Asimismo, hacemos una revisión exhaustiva del currículo oficial de Ciencias (Física y Química), con objeto de dilucidar qué posibilidades abre a innovaciones didácticas como la que planteamos. De este análisis se desprende la posibilidad de integrar la Física de Semiconductores en el currículo de Física y Química como hipótesis general de la investigación, si bien ello se concretará en el siguiente capítulo, a partir del modelo didáctico que se propone.

La integración de la Física de Semiconductores en la ESO requiere del diseño de un modelo didáctico que sea próximo a la realidad educativa de las aulas. Esto es, un modelo que: a) motive al alumnado por el estudio de la Física de Semiconductores; b) fomente el aprendizaje autónomo del alumnado y le cree hábitos de autorregulación de su aprendizaje, con el fin de que ello favorezca la asimilación significativa de los conceptos estudiados; c) sea susceptible de ser aplicado y evaluado –desde diferentes perspectivas– en el marco de una Investigación-acción práctica, y c) sea un material autorregulable y modificable, a partir de los resultados obtenidos de la evaluación, con vistas a introducir elementos de mejora en aplicaciones sucesivas. Todas estas características nos instan a concretar más aún el problema, mediante su desglose en otros más simples, con idea de hacer factible su investigación en un entorno educativo natural (el aula).

Teniendo en cuenta lo anterior, concluimos el capítulo con la formulación de los objetivos generales y específicos de la investigación. Los objetivos se plantean como fundamentos del modelo didáctico experimental, que se concreta en el capítulo siguiente, y que nos va a permitir llevar a la práctica la investigación planteada.

2. Revisión del currículo de física y química de la ESO y perspectivas para la integración de la física de semiconductores

Aun cuando la Electrónica ilustra el espíritu del desarrollo científico y tecnológico actual, el currículo de Ciencias (Física y Química) de la ESO (CEJA, 2004), no incluye contenidos relacionados con la Electrónica; de modo que tampoco se contemplan contenidos de Física de Semiconductores. No obstante, en el mismo currículo se indica que (p.1):

La Ciencia, en la sociedad actual, es un área de conocimiento imprescindible para comprender los avances científicos y progresos tecnológicos que continuamente se están produciendo y que, poco a poco, van transformando nuestras condiciones de vida. Ha sido en el campo de las ciencias Bioquímica, Física y Química, donde los logros conseguidos por los investigadores han sido más espectaculares, sobre todo en aspectos directamente relacionados con las telecomunicaciones...

De lo anterior se infiere que el nuevo currículo de Física y Química de la ESO no está en sintonía con el desarrollo científico y tecnológico actual, al no incluir contenidos sobre Física de Semiconductores –base científica del desarrollo de la Electrónica y, por tanto, de las Telecomunicaciones– (Jenkins, 2005). Si bien se reconoce la necesidad de una formación básica acorde con los avances científicos y tecnológicos del momento, la realidad muestra que la relación de contenidos mínimos que se proponen no ha evolucionado al ritmo del desarrollo científico-tecnológicos alcanzado hasta nuestros días (Valdés *et al*, 2002).

Con todo, un análisis pormenorizado del currículo actual de Física y Química de la ESO, muestra la posibilidad de integrar –de forma gradual y adecuada a las características de este nivel educativo– las nociones básicas de Física de Semiconductores. En efecto, entre las sugerencias establecidas en el currículo se establece que:

[...] no hay que olvidar la inclusión, en la medida de lo posible, de todos aquellos aspectos que se relacionan con los grandes temas actuales que la Ciencia está abordando, [...] ampliando los horizontes del conocimiento y facilitando su concreción en el aula o laboratorio.

De esta sugerencia, se deduce que el currículo de Física y Química tiene un carácter abierto, que promueve la integración de aquellos aspectos científico-tecnológicos que tienen especial relevancia en cada momento de su desarrollo. Queda, por tanto, justificada la posibilidad de integrar contenidos relacionados con la Electrónica Física (Física de Semiconductores) en el currículo de Ciencias (Física y Química) de la ESO.

La integración de nociones de física de semiconductores en la ESO como innovación didáctica en España

Desde hace años, en países como Francia, Reino Unido, Albania, Israel y Finlandia, la Electrónica se incluye tanto en el currículo de Tecnología como de Ciencias (Física y Química) de Educación Secundaria. En el caso de Finlandia, por ejemplo, se viene desarrollando un proyecto educativo denominado GEP (Get Electronics Project), cuya finalidad es introducir la Electrónica, de forma coordinada, en los currículos de Ciencias y de Tecnología.

Los trabajos anteriores son, ciertamente, un referente importante para nuestra investigación. Además, incitan a contribuir a la convergencia europea, en lo que a la educación científica básica se refiere, en nuestro país (De Pro, 2004).

Después de una vasta indagación bibliográfica, encontramos que en España no existen precedentes de investigaciones didácticas encaminadas a la introducción de nociones de Física de Semiconductores en la ESO. En

consecuencia, como innovación didáctica relevante en el país, creemos oportuno emprender una investigación didáctica encaminada a iniciar la enseñanza/aprendizaje de la Física de Semiconductores en ESO.

3. Planteamiento general del problema y objetivos

3.1. Planteamiento del problema a investigar

A la vista de lo que acabamos de exponer, el punto de partida de la investigación que proponemos reside en diseñar y evaluar un modelo didáctico que posibilite la enseñanza/aprendizaje de la Física de Semiconductores en la Educación Secundaria Obligatoria (ESO). El modelo didáctico debe tener presente las tendencias actuales en Didáctica de la Física y materias afines. Por tanto, el problema general que planteamos en esta investigación se concreta en la pregunta siguiente:

¿Es posible diseñar un modelo didáctico, coherente con el paradigma constructivista, que posibilite la integración racional y progresiva de los contenidos básicos de Física de Semiconductores en el currículo de Ciencias (Física y Química) de la ESO?

Dado el carácter general con el que se ha formulado la pregunta anterior, su respuesta es, *a priori*, afirmativa, si atendemos a las estrategias didácticas, basadas en el constructivismo, que hemos descrito ampliamente en el capítulo 2, para la enseñanza/aprendizaje de la Física de Semiconductores en la ESO. Si bien, la cuestión no radica tanto en si es o no posible diseñar un modelo didáctico para tal fin; más bien cabe preguntarse de qué manera ha de diseñarse un modelo didáctico que permita enseñar Física de Semiconductores en la ESO, teniendo en cuenta la realidad del aula (clima del aula, atención a la diversidad, etc). No hay que olvidar que el *aprendizaje significativo* de conceptos científicos no es tarea fácil, y menos aún en los niveles básicos de enseñanza (ESO, en este caso), donde, además de las dificultades cognitivas propias de la etapa adolescente, suelen plantarse importantes problemas de motivación. Por tanto, el constructivismo no es ninguna panacea educativa; sólo establece las directrices idóneas que coadyuvan a la adquisición de nuevos significados en el aprendizaje de las Ciencias. Su planteamiento en el aula surtirá los efectos deseados, en la medida que el profesorado sea capaz de acondicionarlo a las características de su alumnado y su entorno.

En consecuencia, un modelo didáctico, con enfoque constructivista, orientado a la enseñanza de la Física de Semiconductores en el nivel de ESO, debe estar encaminado más a *'cómo'* aprenden los alumnos y alumnas los contenidos de la temática, y no tanto a *'qué'* han aprendido; esto es, que el alumnado aprenda a aprender. Para ello, se fomentará el *aprendizaje autónomo* del alumnado, porque esto sí incidirá, de manera positiva, en el aprendizaje significativo de los conceptos básicos de Física de Semiconductores. Además, un modelo didáctico de estas características ha de ser susceptible de ser aplicado y evaluado desde la práctica (*reflexión en la acción*) en un espacio educativo natural. Por todo ello, es preciso concretar más aún el problema de investigación.

A la vista de lo que acabamos de decir, una cuestión clave en el aprendizaje de la Física de Semiconductores es, de una parte, crear un

clima de motivación del alumnado por su estudio y, de otra, fomentar el aprendizaje autónomo como elementos básicos en un marco de aprendizaje constructivista. En consecuencia, formulamos el siguiente interrogante:

1. *¿Es posible diseñar un modelo didáctico, basado en el paradigma constructivista, que coadyuve a que el alumnado sea consciente de su propio aprendizaje (aprendizaje autónomo), se sienta motivado por el estudio de nociones de Física de Semiconductores y manifieste un alto grado de implicación en las sesiones de clase?*

En la medida que se den las circunstancias planteadas en la cuestión anterior, se contribuirá a que el alumnado logre un aprendizaje significativo de los conceptos estudiados. Por tanto, también cabe preguntarse lo siguiente:

2. *¿Se puede diseñar un modelo didáctico, con enfoque constructivista, que permita al alumnado de ESO lograr un aprendizaje significativo de nociones de Física de Semiconductores, según los objetivos didácticos previstos para la etapa?*

En relación con el último interrogante, y desde una visión cercana a la realidad educativa, creemos será un resultado aceptable que, en una primera experiencia sobre enseñanza/aprendizaje de la Física de Semiconductores en la ESO, las dificultades detectadas sean del orden de las que se manifiestan en el resto de contenidos de Física. Lo cual implicará que la inclusión de nociones de Física de Semiconductores, en el currículo de Física y Química de la ESO, es igualmente viable que la del resto de sus contenidos. En este sentido, planteamos lo siguiente:

3. *¿Es posible elaborar un modelo didáctico, coherente con el constructivismo, para la enseñanza de nociones de Física de Semiconductores, cuya aplicación en el aula de ESO ocasione dificultades de aprendizaje, a lo sumo, similares a las del resto de contenidos de Física en dicha etapa educativa?*

Indudablemente, la búsqueda de respuestas a las tres cuestiones anteriores requiere de un marco metodológico que permita la aplicación y evaluación del modelo, en consonancia con las actuales tendencias en investigación didáctica, que aboga por la reflexión desde la práctica (Latorre, 2003). Por ello, nos hacemos la cuarta y última pregunta:

4. *¿Se puede elaborar un modelo didáctico, inspirado en el constructivismo, para la enseñanza de la Física de Semiconductores en la ESO, cuya aplicación en el aula y la evaluación de los resultados sean susceptibles de ser llevadas a cabo en el marco de una Investigación-acción, con vistas a elaborar una Teorización de la práctica realizada?*

La respuesta a la pregunta anterior será afirmativa, en tanto que la investigación-acción se planifique convenientemente, de acuerdo con los propósitos de investigación que se plantean, en el marco del modelo de investigación-acción práctica descrito en el capítulo 3.

Es preciso indicar que hemos esbozado el problema de investigación mediante cuatro interrogantes, que han sido formulados convenientemente a fin de que cumplan los requisitos exigidos a un problema para que sea

científico (Kerlinger, 1987, cit. en Ayensa, 2001: 308). Esto es, que: a) se trate de una pregunta de interés expresada sin ambigüedades; b) permita formular hipótesis, a partir del planteamiento de la pregunta, y c) sea susceptible de verificación experimental, es decir, que el problema sea resoluble.

Aun cuando el problema planteado cumple los requisitos de una investigación científica, las preguntas formuladas son complejas. Por consiguiente, la búsqueda de respuestas, que se suponen afirmativas teniendo en cuenta lo expuesto en la fundamentación teórica, debe llevarse a cabo mediante el desglose de los interrogantes en problemas más simples, cuyas respuestas constituirán las hipótesis de acción; las cuales, se formularán en torno al modelo didáctico propuesto, que se describe con detalle en el siguiente capítulo.

3.2. Objetivos generales de la investigación

A partir del problema de investigación que acabamos de plantear, el propósito esencial de nuestro estudio consiste en buscar respuestas a los interrogantes expuestos. Para ello, formulamos los siguientes *objetivos generales de investigación*:

1. *Diseñar un modelo didáctico, con enfoque constructivista, orientado a integrar, de un modo racional y progresivo, las nociones básicas de Física de Semiconductores en el currículo de Ciencias (Física y Química) de la Educación Secundaria Obligatoria (ESO).*
2. *Evaluar la eficacia educativa del modelo didáctico propuesto en un espacio natural de la práctica docente, mediante el estudio de casos en el marco de una Investigación-acción práctica.*

La consecución de los dos objetivos generales anteriores, requiere del diseño de un modelo didáctico, que se materialice en unos *módulos didácticos* con las siguientes características:

- Sean fácilmente acoplables con otros módulos o unidades didácticas, sobre Electricidad y Electrónica, del mismo nivel educativo.
- Se desarrollen en un marco didáctico y metodológico, que haga posible la regulación del proceso de enseñanza/aprendizaje, en consonancia con el paradigma constructivista.
- Sean autosuficientes para el desarrollo del proceso de enseñanza/aprendizaje en el aula y, al mismo tiempo, abran las vías oportunas a otras fuentes de información que coadyuven a la consecución de los objetivos previstos.
- Sean atractivos para el alumnado y, por tanto, motivo de incentivo en aras de mejorar su rendimiento académico en Física.
- Sean manejables para el alumnado, fomenten el aprendizaje autónomo, mediante la participación activa y emprendedora, y promuevan hábitos de autorregulación del aprendizaje por medio de ejercicios de autoevaluación.

- Sean abiertos y adaptables a las necesidades educativas de cada situación y, en consecuencia, susceptibles de ser aplicados en el marco de una Investigación-acción práctica.
- Sean susceptibles de ser evaluados desde todas las perspectivas de la evaluación educativa, es decir, permitan hacer una evaluación inicial, formativa/formadora y sumativa del proceso de enseñanza/aprendizaje.

3.2.1. Objetivos específicos

La descripción anterior de las características de los módulos didácticos, en los que se materializa el modelo didáctico, nos insta a concretar más aún los fines de la investigación y establecer los siguientes *objetivos específicos*:

1) Diseñar módulos didácticos, con enfoque constructivista, que sean fácilmente acoplables con otros módulos o unidades didácticas, relacionados con la Electricidad y la Electrónica, para el nivel de ESO.

2) Elaborar módulos didácticos que fomenten el aprendizaje autónomo y la autoevaluación del alumnado, y que sean fácilmente amoldables a las características de cada situación educativa.

3) Establecer y organizar, convenientemente, todos los aspectos intervinientes en el proceso de enseñanza/aprendizaje, con objeto de aplicar los módulos didácticos en el marco de una Investigación-acción práctica.

4) Valorar el rendimiento del proceso de enseñanza/aprendizaje desarrollado a través de las actividades propuestas en los módulos didácticos. Para ello, se tratará de:

4.1) Proporcionar al alumnado la formación previa necesaria en Electricidad y Estructura de la Materia, y valorar su eficacia (*evaluación inicial*) con el fin de emprender el estudio de nociones de Física de Semiconductores.

4.2) Conocer los progresos y las dificultades de aprendizaje manifestadas por el alumnado durante la intervención educativa (*evaluación formativa/formadora*).

4.3) Investigar los niveles de conocimiento alcanzados por el alumnado sobre Física de Semiconductores, una vez concluido el proceso de intervención educativa (*evaluación final*).

4.4) Describir y analizar las ideas alternativas detectadas en el alumnado sobre Física de Semiconductores (*evaluación final*).

5) Realizar una valoración global del proceso educativo, desarrollado con los módulos didácticos, desde diferentes perspectivas (profesorado y alumnado), con el fin de obtener conclusiones generales y determinar los aspectos a mejorar en acciones sucesivas (*Teorización*).

En el siguiente capítulo desarrollamos, con detalle, el modelo didáctico y su concreción en los módulos didácticos, que proponemos para la investigación, así como las características del marco de aplicación y evaluación de los mismos.

4. Referencias bibliográficas

Ainley, D. (1984). Some strategies for a teaching electronics to less able pupils. *The School Science Review*, 66, 31-38.

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

Barak, M. (2002). Learning good electronics or coping with challenging tasks: the priorities of excellent students. *Journal of Technology Education*, 14(1), pp. 20-34.

Bevis, G., Gough, C. y Deeson, E. (1985). Ban Electronics from school physics! *Physics Education*, 20, pp. 109-110.

CEJA [Consejería de Educación de la Junta de Andalucía] (2004). *Currículo de Tecnología de la Educación Secundaria Obligatoria*. En: http://www.juntadeandalucia.es/averroes/publicaciones/etapa_eso/fyq.pdf.

Corati, R., Mulaj, Z. y CORATI, K. (1995). A new approach to the teaching of semiconductors in the secondary schools of Albania. In International Conference "Teaching the science of condensed matter and new materials". Italy, 24-30 August 1995. En: <http://www.fisica.uniud.it/conference/GIREP95/index.html>.

Cuthbert, L.G. (1979). The development of an 0-level in electronics. *Physics Education*, 14(6), pp. 361-364.

Dávila, S. (2000). El aprendizaje significativo: esa extraña expresión utilizada por todos y comprendida por pocos. *Contexto Educativo*, 9. En: <http://www.contexto-educativo.com.ar>.

De Pro, A. (2003). La enseñanza y aprendizaje de la Física. En Jiménez-Aleixandre (coord.), *Enseñar Ciencias*. Barcelona: Graó.

De Pro, A. (2004). Educación Infantil, Primaria y Secundaria ante la Reforma. Convergencia Europea. *XXI Encuentros de Didáctica de las Ciencias Experimentales*. 8-10 de septiembre de 2004. San Sebastián.

De Posada, J. M. (2000). El estudio didáctico de las ideas previas. En Perales, J. y Cañal, P. (Eds.), *Didáctica de las Ciencias Experimentales*. Alcoy: Marfil.

Driver, R., Guesne, E. y Tiberghien, A. (1999). *Ideas Científicas en la infancia y adolescencia* (4ª ed.). Madrid. MEC/Morata.

Elliott, J. (2000). *La investigación-acción en educación* (4ª ed.). Madrid: Morata.

Fernández, J., et al (2002). *¿Cómo hacer unidades didácticas innovadoras?* (2ª ed.). Sevilla: Díada.

Gil, D. et al (1999). ¿Puede hablarse de consenso constructivista en la educación científica? *Enseñanza de las Ciencias*, 17(1), pp. 503-512.

Gil, D. y Guzmán, M. (1993). *Enseñanza de las Ciencias y la Matemática. Tendencias e Innovaciones*. Organización de Estados Iberoamericanos para la Educación, la Ciencia y la Cultura.

- Hierrezuelo, J. y Montero, A. (1991). *La Ciencia de los alumnos*. Vélez-Málaga. Elzevir.
- Jolly, W.P. (1998). *Electrónica* (6ª ed). Madrid: Pirámide.
- Jenkins, T. (2005). A brief history of... semiconductors. *Physics Education*, 40, pp. 430-439.
- Latorre, A. (2003). *La Investigación-acción. Conocer y cambiar la práctica educativa*. Barcelona: Graó.
- Lavonen, J., y Meisalo, V. (2000). Science teachers and technology teachers developing electronics and electricity courses together. *International Journal of Science Education*, 22(4), pp. 435-46.
- Lavonen, J. y Meisalo, V. (2003). Current Research Activities in the LUONTI Project. *Media Education Publication*, 8, pp. 307-338.
- Polev, N.M. (1989). *Base physique d'électronique dans l'enseignement secondaire: module méthodologique*. Enseignement scientifique et technique, Serie documents nº 34. UNESCO, París.
- Pozo, J.I. y Gómez Crespo, M.A. (1998). *Aprender y enseñar Ciencia*. Madrid: Morata.
- Rodríguez Tuñas, R. et al (2001). *Autoaprendizaje en Inglés y Matemáticas*. Proyecto de Investigación Educativa subvencionado por la Consejería de Educación y Ciencia de la Junta de Andalucía. En: <http://www.juntadeandalucia.es/averroes/publicaciones/investigacion/autoaprendo.pdf>.
- Rosado, L. (1995). *Microelectrónica para Profesores de Ciencias y Tecnología*. Madrid: UNED.
- Rosado, L. y Ayensa, J.M. (1999). *Enseñanza de la Física en el nuevo Sistema Educativo. Bases didácticas y nuevos medios tecnológicos en la ESO y Bachillerato*. Madrid: UNED.
- Rosado, L. y García Carmona, A. (2004). Física de Semiconductores en la Electrónica de la ESO: situación actual y perspectivas. Actas de los XXI Encuentros de Didáctica de las Ciencias Experimentales (San Sebastián, España), pp. 265-272.
- Summers, M.K. (1985). Electronics 11-18: a coordinated programme for the school physics currículo. *Physics Education*, 20 (2), pp. 55-61.
- Valdés, R. et al (2002). Implicaciones de las relaciones Ciencia-Tecnología en la educación científica. *Revista Iberoamericana de Educación*, 28, pp. 101-128.
- Weisbuch, C. (2001). La invención de los chips electrónicos. *Mundo Científico*, 220, pp. 14-16.

CAPÍTULO 5: DISEÑO DE UNA PROPUESTA PARA LA ENSEÑANZA DE NOCIONES DE FÍSICA DE SEMICONDUCTORES EN SECUNDARIA

Resumen

Se propone un modelo didáctico, con enfoque constructivista, para la enseñanza/aprendizaje de la Física de Semiconductores en la ESO, y se describen sus características esenciales, así como las diferentes fases en que debe desarrollarse en el aula. Como característica fundamental del modelo, se destaca la necesidad de fomentar en los alumnos hábitos de *autorregulación del aprendizaje*, con idea favorecer el aprendizaje significativo de los contenidos. En este sentido, dentro de lo que debe ser la evaluación del modelo (inicial, formativa/formadora y sumativa), se muestra especial atención a la evaluación formativa/formadora, como elemento vertebrador del proceso de enseñanza/aprendizaje. El modelo se concreta en cinco *módulos didácticos*, con enfoque constructivista, que se desarrollan en forma de programas-guía de actividades. Contienen actividades de enseñanza/aprendizaje, con sus correspondientes comentarios didácticos, así como los objetivos y criterios de evaluación que deben ser transferidos al alumnado, con la intención de que sea consciente de las metas que ha de alcanzar con el estudio de cada módulo. Por último, a partir del modelo didáctico propuesto, se formulan diversas *hipótesis de acción* como posibles respuestas a los interrogantes planteados en el problema de investigación. Su formulación tiene la finalidad de concretar el diseño experimental de la investigación y, en consecuencia, elaborar las estrategias de acción oportunas para valorar la eficacia del modelo didáctico.

Esquema/Sumario

1. Introducción
2. Diseño de un modelo didáctico para la enseñanza de la física de semiconductores en Educación Secundaria
 - 2.1. Estructuración del modelo didáctico
 - 2.2. Los módulos didácticos como medio para la enseñanza/aprendizaje de la física de semiconductores
 - 2.2.1 Diseño de módulos didácticos constructivistas en forma de programas-guía de actividades
3. Evaluación del modelo didáctico
 - 3.1. Momentos de la evaluación en la enseñanza/aprendizaje de la física de semiconductores
 - 3.1.1 Evaluación inicial o diagnóstica
 - 3.1.2 Evaluación formativa/formadora
 - 3.1.3 Evaluación final o sumativa

3.1.4. Autoevaluación y coevaluación

4. Concreción del modelo: propuesta fundamentada de módulos didácticos de física de semiconductores

Módulo I: "Los materiales semiconductores en el desarrollo de la Electrónica"

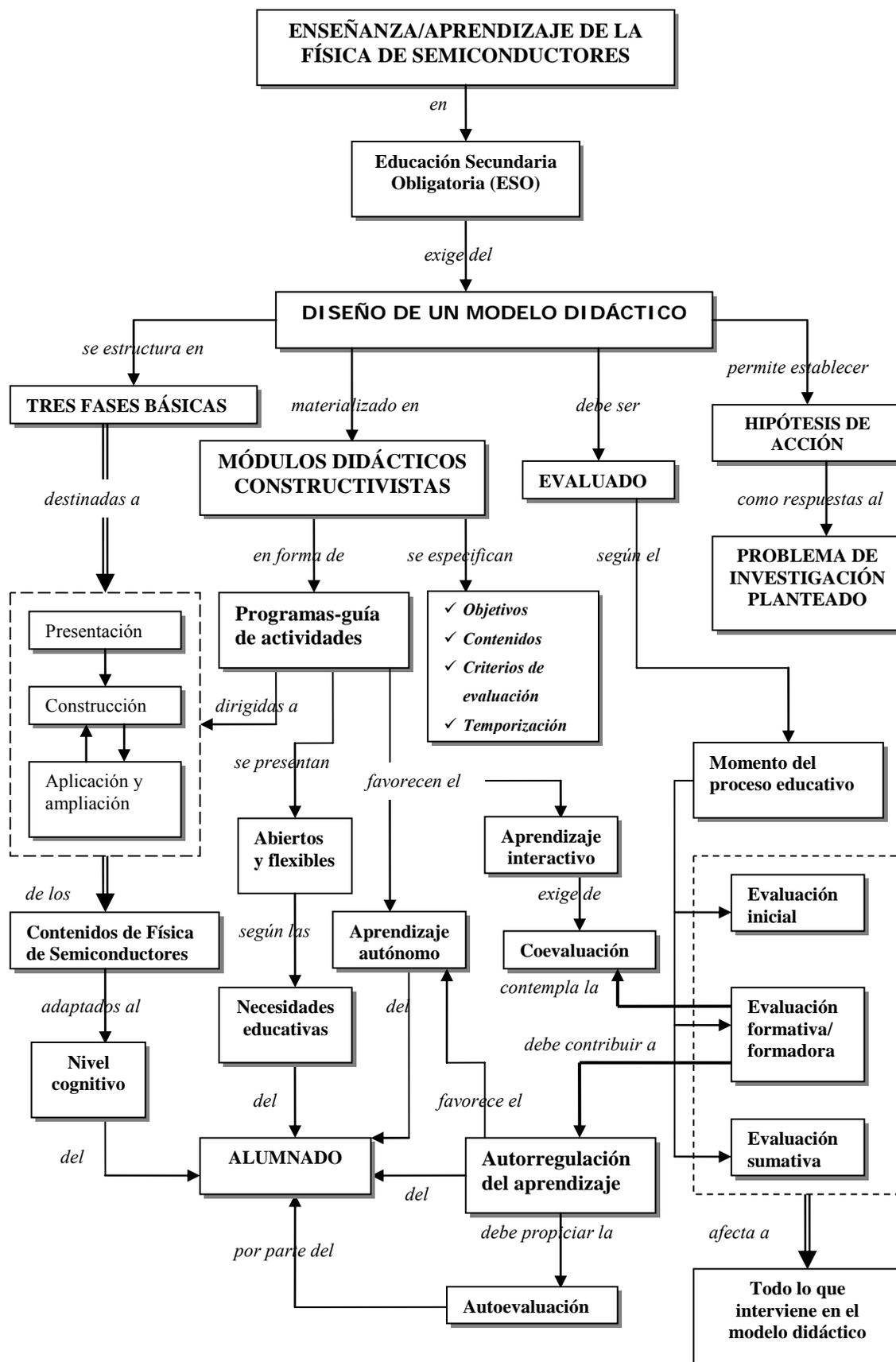
Módulo II: "Naturaleza y comportamiento eléctrico de la materia"

Módulo III: "Definición y propiedades físicas de los semiconductores"

Módulo IV: "Semiconductores intrínsecos. Generación y recombinación de pares electrón-hueco"

Módulo V: "Semiconductores extrínsecos. Semiconductores tipo p y n"

5. Hipótesis sobre el modelo didáctico propuesto
6. Referencias bibliográficas



1. Introducción

En este capítulo, describimos con detalle el modelo didáctico propuesto para la enseñanza/aprendizaje de la Física de Semiconductores en la ESO. Exponemos las características esenciales del modelo y las distintas fases en que se deben desarrollar los contenidos en el aula. Entre las principales características destacamos la necesidad de fomentar en los alumnos hábitos de *autorregulación de los procesos de aprendizaje*, con idea de favorecer el aprendizaje significativo de los contenidos (García Carmona, 2005). En consecuencia, la evaluación del modelo se constituye como un elemento vertebrador del proceso de enseñanza/aprendizaje, en la que cobra especial protagonismo la evaluación formativa/formadora. Ésta, además de permitir al profesor regular el proceso educativo, desarrollado con la puesta en práctica del modelo didáctico (evaluación formativa), ha de transferir parte de la responsabilidad de la evaluación al alumnado (evaluación formadora) con idea de que gestione sus errores y planifique acciones de mejora de su aprendizaje (autorregulación). En este sentido, se incide sobre la necesidad de favorecer la *autoevaluación* del alumnado y, complementando a ésta, la *coevaluación*, con el propósito de coadyuvar al aprendizaje colectivo mediante la interacción alumno-alumno y alumnado-profesor.

También se describen las características que deben tener las evaluaciones inicial (o diagnóstica) y final (o sumativa) en la aplicación del modelo didáctico. En relación con esta última, el modelo centra la atención en su perspectiva pedagógica, sin incidir en su carácter social, centrado en la calificación del alumnado.

El modelo didáctico que proponemos se concreta en cinco *módulos didácticos*, que se desarrollan en forma de programas-guía de actividades. En su diseño se toma como base las estrategias didácticas descritas en el capítulo 2, acerca de la enseñanza de la Física de Semiconductores en el nivel de ESO. Además de las actividades de enseñanza/aprendizaje, acompañadas de los correspondientes comentarios didácticos, se detallan los objetivos y criterios de evaluación, que han de ser transferidos al alumnado con la intención de que sea consciente de las metas educativas que debe alcanzar con el estudio de cada módulo.

Una vez descrito el modelo didáctico propuesto, se formulan una serie de *hipótesis de acción* como posibles respuestas a los interrogantes planteados en el problema de investigación (capítulo 4). Ello nos permite delimitar el diseño experimental de la investigación y elaborar, así, las estrategias de acción adecuadas para dar respuestas al problema planteado. Esto se acometerá en el capítulo siguiente.

2. Diseño de un modelo didáctico para la enseñanza de la física de semiconductores en Educación Secundaria

2.1. Estructuración del modelo didáctico

La elaboración del modelo didáctico, para la enseñanza/aprendizaje de la Física de Semiconductores en la ESO, está fundamentada en los principios y planteamientos didácticos descritos en la fundamentación teórica. Se trata de un modelo centrado en el aprendizaje, cuyo diseño toma como base las

directrices del constructivismo. Por tanto, con el modelo didáctico no se intenta enseñar, sino, más bien, propiciar que los alumnos aprendan. Desde esta perspectiva, la función del docente será la de *mediador del aprendizaje*, a través de la orientación de la actividad mental constructiva de los alumnos, a quienes proporcionará ayuda pedagógica ajustada a sus necesidades. En la tabla 5.1 se exponen las características esenciales de un modelo didáctico centrado en el aprendizaje, concretando la función del profesor y la del alumno durante su desarrollo.

Los modelos didácticos constructivistas, centrados en el aprendizaje, se desarrollan, básicamente, en tres fases (Meneses, 1999): *Fase de planificación*, *Fase de construcción* y *Fase de aplicación y ampliación*. Con arreglo a esta estructuración, pasamos a describir las fases o etapas en las que ha de desarrollarse el modelo didáctico que proponemos.

Modelo didáctico centrado en el aprendizaje	
<i>El Profesor</i>	<i>El Alumno</i>
<ul style="list-style-type: none"> • Diseña actividades de aprendizaje 	<ul style="list-style-type: none"> • Realiza actividades
<ul style="list-style-type: none"> • Enseña a aprender 	<ul style="list-style-type: none"> • Construye su propio aprendizaje
<ul style="list-style-type: none"> • Evalúa 	<ul style="list-style-type: none"> • Se autoevalúa

Tabla 5.1.- Modelo didáctico centrado en el aprendizaje.

A) *Fase de planificación*

La idea de partida del modelo es que la adquisición de aprendizajes significativos exige que los alumnos sientan la necesidad de encontrar respuesta a un problema; o dicho de otro modo, para que se produzca el aprendizaje, los alumnos deben estar interesados y tener la inquietud de aprender sobre el tema que se propone. Para ello, el tema que se va a estudiar –la Física de Semiconductores, en este caso– ha de presentarse de la manera más atractiva posible. Por ejemplo, se presentará mediante actividades donde se muestre la importancia de la Física de Semiconductores (base científica de la Electrónica) en la sociedad actual, dominada por productos electrónicos; y, a consecuencia de ello, se crearán debates en torno a la presencia (ventajas e inconvenientes) de estos en la vida cotidiana.

Los contenidos que se propongan estarán relacionados con los conocimientos que posee el alumnado, puesto que, así, cualquier objeto nuevo de conocimiento no quedará demasiado alejado de los esquemas cognitivos que ya tiene. No obstante, tampoco parecerán demasiado semejantes a algo que ya han estudiado, con el fin de que surja la motivación necesaria para aprender nuevos temas.

En esta fase, los alumnos explicitarán sus ideas y modelos explicativos sobre el objeto a aprender; si bien, dado que la Física de Semiconductores es un tema nuevo para el alumnado de ESO, se procurará conocer aquellas ideas sobre cuestiones afines a la misma. Se trata de averiguar las concepciones que los alumnos poseen sobre Electricidad y estructura y propiedades de la Materia. El proceso estará pactado, de algún modo, con el alumnado, a fin de que se sienta comprometido con la cuestión y, por tanto, resulte productivo. Además de motivar al alumnado, la afloración de sus ideas constituirá un instrumento de diagnóstico para el profesor, ya que le permitirá elegir y orientar las situaciones problemáticas del tema que se va a estudiar. Uno de los módulos didácticos que conforman el modelo que proponemos, presenta un conjunto de actividades dedicado a la naturaleza eléctrica de la materia, con la intención de, por un lado, hacer aflorar las ideas que los alumnos tienen sobre el tema, y, por otro, proporcionarles una formación de base, que les ayude a afrontar el estudio de nociones de Física de Semiconductores.

Las *situaciones problemáticas*³ que se planteen, pondrán en duda las ideas de los alumnos mediante la generación de conflictos cognitivos (Pozo y Gómez Crespo, 1998). Asimismo, deben ser motivadoras, tener una relación directa con los objetivos previstos y estar adaptadas a la capacidad y conocimientos de alumnado de ESO; todo ello, con el fin de que formulen sus propias hipótesis y propuestas de resolución.

En el tratamiento de situaciones problemáticas, se ha de propiciar que los alumnos hagan preguntas, señalen aquello que les resulte de interés, imaginen posibles soluciones y, en suma, participen en la modelización y concreción del problema. De este modo, los alumnos hacen suyos los problemas, los adaptan a su zona de desarrollo cognitivo (Vigotski, 1989, cit. en Meneses, 1999: 87) y se sienten motivados e interesados en su resolución.

B) Fase de construcción

Con el fin de favorecer la formulación de hipótesis, por parte del alumnado, se fomentará la discusión y contrastación de ideas y opiniones mediante el trabajo en grupo. Aunque en un principio las hipótesis emitidas por los alumnos sean ambiguas e imprecisas, servirán de hilo conductor para interpretar las observaciones, los resultados experimentales y la información recogida. Conviene precisar, al respecto, que si no se fomenta la emisión de hipótesis en los alumnos, la utilización del instrumento didáctico carecerá de interés intelectual para ellos y, por tanto, se favorecerá un uso mecánico del mismo. Por consiguiente, la formulación de hipótesis debe ser uno de los elementos esenciales en la construcción de ideas y conceptos interpretativos durante el aprendizaje de nociones de Física de Semiconductores.

³Esta estrategia didáctica incluye la resolución de ejercicios numéricos, pequeños experimentos, conjunto de observaciones, tareas de clasificación, etc; es decir, rompe con la distinción clásica entre «teoría», «prácticas experimentales» y «resolución de problemas» (Gil y Valdés, 1995). Para Schmidt (1995, cit. en Campanario y Moya, 1999: 182) la propia dinámica interna de las situaciones problemáticas fomenta el aprendizaje autorregulado. No se espera que el alumno descubra por sí mismo los conocimientos científicos; más bien, la selección y sucesión de situaciones problemáticas debe orientarle para que *aprenda*, a partir de fuentes diversas, los contenidos que se estiman relevantes en el tema objeto de estudio.

Una vez emitidas las hipótesis, los alumnos han de comprobarlas y, en numerosas ocasiones, necesitarán nuevos conceptos para interpretar la situación planteada. En consecuencia, estos nuevos términos y definiciones se facilitarán, mediante su presentación explícita y gradual, a lo largo de las actividades que conforman la propuesta didáctica del modelo. La eficacia o idoneidad de las actividades que se planteen, exige, por parte del profesor, una regulación permanente del proceso de enseñanza/aprendizaje (*evaluación formativa*). Como señalan Driver y Oldham (1986, cit. en Gil *et al*, 1991: 149), *el aprendizaje debe concebirse como el programa de actividades a través de las cuales dichos conocimientos y habilidades pueden ser construidos y adquiridos*.

Cuando hacemos referencia al término actividad⁴ no sólo nos referimos a la tarea que realiza el alumnado. En muchas ocasiones el profesor debe introducir conceptos desconocidos por el alumnado y demostrar su potencial explicativo con idea de que, después, sean utilizados en la resolución de situaciones problemáticas. En efecto, en actividades de introducción al tema, de recapitulación, de comentario de informes, etc., el grado de participación del profesor será, probablemente, mayor que la del alumnado.

Al final de esta fase, después de la información adicional ofrecida al alumnado para que evalúe sus conjeturas (*autoevaluación*), estos deben haber conceptualizado y estructurado los conocimientos implicados en la situación planteada. Se habrán cometido muchos errores hasta llegar a una conclusión correcta, si bien, aprender esto es fundamental para avanzar eficazmente en la construcción de nuevos significados. Por ello, es preciso prestar especial atención a aquellos alumnos que presentan problemas de aprendizaje (*atención a la diversidad*), a través de estrategias de refuerzo diseñadas por el profesor y de la implicación de compañeros de clase⁵, que estén dispuestos a ayudarles en su aprendizaje. Se tratará de ser conscientes de las dificultades y limitaciones que los alumnos tienen para identificar, diferenciar, priorizar, elaborar hipótesis, interpretar información, etc., con idea de graduar el proceso de aprendizaje a sus necesidades. En tal caso, se partirá de las actividades que los alumnos son capaces de realizar por sí solos, y adecuar las siguientes con el fin de que progresen en su aprendizaje. La idea es propiciar un proceso de aprendizaje basado en el ensayo y error progresivo, con el propósito de que el alumnado vaya construyendo significados que se acerquen paulatinamente a la interpretación correcta. Los errores, con su correspondiente corrección fundamentada, son esenciales en la maduración de las estructuras intelectuales y, por tanto, de los conceptos manejados.

Durante el proceso de enseñanza/aprendizaje, la confrontación de las ideas, pareceres, estrategias empleadas, experiencias realizadas, hipótesis emitidas, etc., permitirá comprobar que los conocimientos no son algo

⁴El concepto de actividad es genérico y no necesariamente lleva aparejado un acto manipulativo o el ejercicio de una habilidad por parte del alumno. Para Fernández *et al* (2002), una *actividad* es cualquier acto encaminado a facilitar el proceso de enseñanza/aprendizaje.

⁵Además de que ayuden a los compañeros que queden rezagados en su aprendizaje, para los alumnos que avancen rápidamente, y de forma satisfactoria, en su aprendizaje, se dispondrá de actividades de profundización sobre el tema con el fin de que estos progresen a su propio ritmo.

elaborado individualmente, sino consecuencia de un esfuerzo colectivo en el aula, que, habitualmente, no resulta sencillo.

C) Fase de aplicación y ampliación

La finalidad de esta fase es afianzar los conceptos estudiados y favorecer que los alumnos apliquen el significado de los conocimientos construidos a nuevas situaciones. Se trata de que los alumnos usen sus nuevas ideas de distintas formas, con el propósito de que adquieran confianza en las mismas. Para ello, se plantearán nuevas situaciones problemáticas donde confluyan conceptos ya estudiados con otros nuevos, reiniciándose así el ciclo de aprendizaje. Esto se conseguirá mediante el diseño de actividades que muestren la utilidad de los principios y conceptos físicos estudiados, con objeto de que los alumnos observen la relevancia e interés de lo aprendido, así como su repercusión en el nuevo aprendizaje.

Al final del proceso de enseñanza/aprendizaje conviene hacer reflexionar a los alumnos acerca de cómo han cambiado sus ideas sobre el tema. Por ejemplo, se pueden hacer entrevistas en las que los alumnos expliquen su experiencia con el estudio de la propuesta didáctica; o bien, pedirles, al principio del proceso, que elaboren un diario de clase donde estos detallen sus progresos, dificultades, vivencias, etc., durante el proceso de enseñanza/aprendizaje.

Las tres fases que acabamos de describir, se desarrollarán, de manera solapada, a lo largo de los diferentes módulos didácticos, que conforman el modelo didáctico propuesto. Asimismo, el proceso de evaluación estará presente en cada una de las fases, en sus distintas formas (evaluación inicial, formativa/formadora y sumativa) y desde las perspectivas del profesor y del alumnado.

2.2. Los módulos didácticos como medio para la enseñanza/aprendizaje de la Física de Semiconductores

Algunos trabajos (p.e. Rosado y Ayensa, 1999) indican que, si bien el desarrollo de las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC) proporcionan recursos didácticos (Multimedia, CD-ROM, Internet, etc.) que contribuyen al cambio metodológico exigido por el nuevo Sistema Educativo, en las actuales programaciones curriculares de Física siguen predominando las propuestas didácticas escritas (libros de texto, programas-guía, unidades didácticas, etc.). En consecuencia, aun cuando es recomendable mostrar una atención cada vez mayor a los medios que proporcionan las TIC, en la enseñanza de la Física se va a seguir prestando una atención importante a los medios escritos por tiempo ilimitado.

Uno de los aspectos esenciales, a la hora de diseñar materiales didácticos para la enseñanza/aprendizaje de la Física, es que el planteamiento de los contenidos sea atractivo para el alumnado, con vistas a despertar el interés por su estudio. También hay que tener presente que los adolescentes tienen un espíritu curioso y se sienten atraídos por los temas nuevos; aunque no suelen ser constantes en el estudio y su atención se disipa con rapidez. Se sienten más motivados por los logros a corto que a largo plazo. Por tanto, con el fin de hacer factible el estudio de las nociones elementales de Física de Semiconductores en la ESO, será conveniente plantear situaciones de

aprendizaje de corta duración, con la intención de que los alumnos mantengan su interés por el tema y aprecien que alcanzan ciertos conocimientos en pocas sesiones de clase. Esto se consigue con el diseño de *módulos didácticos*.

Un *módulo didáctico* es un bloque temático, fácilmente acoplable a otro, que contiene recursos didácticos facilitadores para la iniciación y/o dominio de un área concreta de las Ciencias. Concretamente, un módulo didáctico sobre Física de Semiconductores, para el nivel de ESO, ha de ser fácilmente acoplable con otros de la misma temática, así como con módulos dedicados a la Estructura de la materia y a la Electricidad/Electrónica, diseñados para este mismo nivel educativo.

En un marco constructivista, los módulos didácticos sobre Física de Semiconductores se desarrollarán mediante un conjunto de actividades, organizadas coherentemente, en las que se establecerán las conexiones pertinentes entre los diferentes módulos. En este sentido, las actividades estarán en continua revisión, teniendo en cuenta, en cada situación, cuál es el punto de partida y qué es lo que pueden aprender los alumnos de acuerdo con sus posibilidades psicológicas y cognitivas. Desde esta visión, se trata de un recurso didáctico abierto y flexible, que ha de adaptarse a las necesidades educativas de cada momento.

2.2.1. Diseño de módulos didácticos constructivistas en forma de programas-guía de actividades

Las actividades que se proponen en los módulos didácticos, están diseñadas y secuenciadas en formato de *programas-guía de actividades*. Los programas-guía de actividades representan una de las aplicaciones más utilizadas en el aprendizaje de las Ciencias basado en el constructivismo. Las ideas básicas que subyacen en la elaboración de los programas-guía son favorecer la construcción de los conocimientos, por parte de los alumnos, y lograr que se familiaricen con las características esenciales del trabajo científico.

Entre las características y ventajas de utilizar *programas-guía de actividades*, con enfoque constructivista, destacamos las siguientes (Meneses, 1999):

- *Permite que el alumnado trabaje de forma activa en el aula.* El alumno se convierte en protagonista de su aprendizaje, desempeñando un papel central tanto de manera individual como en las interacciones con sus compañeros.
- *El conjunto de actividades ha de poseer una lógica interna* que evite un aprendizaje inconexo del tema, y desarrolle el contenido de tal manera que se aprovechen todas las ocasiones posibles para que los alumnos se familiaricen con la metodología científica y, en consecuencia, aprendan a hacer Ciencia.
- *Favorece el trabajo colectivo de los alumnos* mediante la estructuración de la clase en pequeños grupos, con el fin de potenciar los intercambios cognitivos en las puestas en común de las actividades. Así aumenta el nivel de participación y la creatividad necesaria en la emisión de hipótesis, o en el diseño de experimentos. Esta estructura organizativa es coherente con el

carácter social de la construcción de los conocimientos científicos. No obstante, es conveniente que antes de discutir con sus compañeros, el alumno intente resolver las tareas por sí mismo, con idea de que ese trabajo y esfuerzo personal sirva de base en las futuras discusiones.

- *Es abierto y flexible* en función de las circunstancias concretas del aula donde se aplica. Aun cuando la secuencia de actividades debe estar escrupulosamente prevista, según la epistemología de la Física y las últimas tendencias en Didáctica de la Física, estará abierta a la posibilidad de modificar o sustituir alguna actividad por otra, o bien eliminarla del programa. Es una tarea que en ningún caso será fruto de la improvisación; el profesor tendrá prevista la introducción de actividades alternativas, con el fin de que desarrolle el tema de acuerdo con los contenidos y objetivos didácticos previstos. Desde esta perspectiva, el programa-guía se concibe como un material didáctico "autocorrectivo"; lo cual supone un trabajo de investigación, que rompe con las programaciones superficiales, y que exige un esfuerzo de profundización y creatividad.

- *Está sometido a continua evaluación.* El profesor contrasta durante la clase la validez de las actividades programadas. Un programa-guía experimenta modificaciones de una aplicación a otra, de modo que su elaboración se convierte en un trabajo de investigación didáctica permanente. Es una visión que sintoniza con las directrices de la Investigación-acción, como metodología idónea en la regulación del proceso de enseñanza/aprendizaje.

- Ofrece situaciones de aprendizaje que *fomentan en los alumnos el uso de estrategias cognitivas ricas y variadas.* El programa-guía potencia el trabajo creativo y favorece el pensamiento divergente. El diseño de las actividades ha de presentar una parte destinada a ofrecer información explícita y otra en la que se exige la indagación y el estudio de los alumnos. De este modo, las actividades se plantean como una 'investigación dirigida', donde el profesor es el director de las investigaciones. Se plantean actividades de todo tipo: a) de introducción y motivación hacia el tema; b) de definición y manejo de conceptos físicos; c) de introducción de modelos o teorías aceptadas por la Ciencia; d) de familiarización con la metodología científica; e) de confrontación de ideas, de autoevaluación y recapitulación de los contenidos; f) de profundización en el tema; etc.

- Permite cambiar las funciones del profesor. De difusor del aprendizaje o transmisor de información pasa a ser *facilitador del aprendizaje*, entendido como mediador entre la Ciencia y los alumnos. Los alumnos necesitan orientaciones para confrontar sus ideas con las científicas a la hora de generar significados. Por este motivo, es preciso ayudarles a que relacionen lo que se les está enseñando con las ideas que ya poseen sobre el tema de estudio. En consecuencia, se requiere un profesor activo que interaccione continuamente con los alumnos y grupos mientras aprenden.

- *Favorece las discusiones y puestas en común.* El profesor anima a los alumnos a que verbalicen sus concepciones, las concreten y las defiendan. Así, no sólo construyen nuevos conocimientos sino que también mejoran la capacidad de expresión, que, sin duda, contribuyen a un mejor aprendizaje. Con esa visión, la labor del profesor será activa durante la puesta en común de cada actividad, controlando las intervenciones y realizando en el

momento oportuno una reformulación globalizadora. Estará atento al trabajo de los grupos y pasará a la discusión general en el momento adecuado, con lo cual, no tiene porqué esperar a que terminen todos los grupos. Las puestas en común servirán para que unos grupos completen el trabajo, otros acepten los errores cometidos, y, sobre todo, para establecer las conclusiones y así poder enfocar las actividades siguientes.

■ *Contempla actividades que permiten al alumnado autoevaluarse y autorregularse* en su aprendizaje. Desde un enfoque que considera la evaluación como instrumento de impulso del aprendizaje, se hace necesario fomentar la implicación del alumnado en todo el proceso de construcción de significados, propiciando, para ello, situaciones de retroalimentación (*feedback*) entre los alumnos y sus propios procesos de aprendizaje. Por ello, en el programa-guía se incluyen actividades que permiten a los alumnos autorregularse. En este sentido, suelen plantearse, por ejemplo: a) situaciones que remiten a otras actividades ya realizadas con anterioridad, con idea de que los alumnos conozcan y revisen sus avances; b) proponer a los alumnos que corrijan y critiquen una interpretación errónea proporcionada, intencionadamente, por el profesor, o bien realizada por otros compañeros de clase; c) pedir a los alumnos más aventajados que ayuden a aquellos que presentan dificultades, favoreciendo así el aprendizaje que se produce mediante la interacción entre iguales.

3. Evaluación del modelo didáctico

La evaluación constituye uno de los elementos fundamentales de nuestro modelo didáctico y, por tanto, es parte inherente al mismo. Su aplicación tendrá la finalidad de proporcionar información acerca de la eficacia educativa del modelo elaborado, la cual estará determinada en la medida en que los alumnos desarrollan o no las capacidades previstas en los objetivos didácticos. La evaluación no se limitará a medir el éxito o fracaso del aprendizaje de los alumnos, sino, más bien, a valorar por qué se han conseguido o no los fines de la propuesta de enseñanza/aprendizaje.

Hasta hace poco tiempo, la evaluación ha estado destinada a constatar si los alumnos han adquirido los conocimientos transmitidos en el aula, una vez concluido el periodo de enseñanza. De este modo, la evaluación ha estado identificada con la simple medición cuantitativa (calificación) de lo que 'el alumno sabe', mediante la utilización casi exclusiva de un único tipo de pruebas, los exámenes. Sin embargo, los nuevos marcos teóricos y prácticos educativos, derivados de las investigaciones en Psicología y en Didáctica de las Ciencias de los últimos años, han promovido un cambio substancial en la concepción de la evaluación educativa (Ayensa, 2001). En efecto, como señala Linn (1987, cit. en Ayensa, 2001: 157), *"no se puede aceptar que el cambio de paradigma (de la enseñanza basada en la transmisión-recepción a la fundamentada en el constructivismo) se ha consolidado, mientras no se vea acompañado de un cambio profundo en la concepción de la evaluación y en el modo en que se lleva a cabo."*

Desde la óptica del constructivismo, no se encuentra funcionalidad a una evaluación consistente en el enjuiciamiento 'objeto' y terminal de la labor realizada por el alumno, sino que se adjudica a la evaluación un papel central en el proceso de enseñanza/aprendizaje. Concebir la evaluación

como instrumento de aprendizaje implica romper con la idea tradicional de evaluación. Alonso, Gil y Martínez-Torregrosa (1992) hacen, al respecto, las siguientes reflexiones:

- ✓ Si la evaluación ha de constituir un instrumento de impulso, es necesario que los alumnos perciban las situaciones de evaluación como ocasiones de ayuda real, generadora de expectativas positivas y útil para tomar conciencia de sus propios avances, dificultades y necesidades.
- ✓ Si ha de favorecer un aprendizaje significativo, contemplará todos los aspectos (conceptuales, metodológicos, actitudinales,...) que ese aprendizaje compendia, lo que supone romper con su habitual reducción a aquello que permite una medida más fácil y rápida: la memorización repetitiva de los "conocimientos teóricos" y su aplicación, igualmente repetitiva, a ejercicios de simple aplicación.
- ✓ Si ha de ser aceptada como algo necesario para alcanzar los objetivos previstos, deberá referirse a criterios claros de progresos establecidos a partir de lo que hoy sabemos sobre el aprendizaje científico.
- ✓ Si aceptamos que la cuestión esencial no es averiguar quiénes son capaces de hacer las cosas bien y quiénes no, sino lograr que la mayoría consiga hacerlas bien (es decir, si aceptamos que el papel fundamental de la evaluación es incidir positivamente en el proceso de aprendizaje), es necesario concluir que ha de tratarse de una evaluación hecha a lo largo de todo el proceso, integrando las actividades evaluadoras en el mismo, con el fin de hacer una retroalimentación adecuada y adoptar, en su caso, las medidas correctoras necesarias.

Reflexiones como las anteriores han dado lugar a una nueva concepción de evaluación⁶, que abandona su carácter predominantemente calificador, que suponía, implícitamente, una segregación del alumnado. El nuevo Sistema Educativo promueve una evaluación que ha de ser *continua, global, integradora e individualizada*, al mismo tiempo que es un *instrumento de acción pedagógica* que permita conseguir la mejora de todo el proceso educativo (Castillo y Cabrerizo, 2003a). En esta misma línea, Imbernón (2000, cit. en Giné y Parcerisa, 2000: 18) define la evaluación del siguiente modo:

[...] como un instrumento de investigación del profesorado que, a través de la identificación, recogida y tratamiento de datos, permite comprobar las hipótesis de acción con el fin de confirmarlas o introducir modificaciones en ellas. La evaluación debe proporcionar criterios de seguimiento de todo el proceso de enseñanza/aprendizaje, o sea, sobre el funcionamiento y los resultados.

A la vista de lo anterior, constatamos que la evaluación es un elemento indispensable en la planificación de cualquier diseño didáctico. Para Giné y Parcerisa (2000) y Castillo y Cabrerizo (2003a), *evaluar* es un proceso inherente al de enseñanza/aprendizaje, que ha de producirse en tres fases esenciales: *recogida de datos, análisis y juicio de estos datos, y toma de*

⁶Pese a las evidencias, que constatan el fracaso de la evaluación basada en la mera calificación de los alumnos, en la actualidad se sigue practicando por un número considerable de profesorado. Existen diversas razones por las que se mantiene esta situación, pero, no es nuestro propósito profundizar en la cuestión, tratada ampliamente en Giné y Parcerisa (2000).

decisiones e información de los resultados. Todo ello, con el fin principal de la enseñanza/aprendizaje: que los alumnos aprendan.

Desde la visión del constructivismo, la evaluación de cualquier modelo didáctico para el aula, contempla el análisis y valoración de los siguientes elementos (Ayensa, 2001):

- Los objetivos planteados, teniendo en cuenta el punto del que se parte.
- Los materiales empleados.
- La metodología seguida.
- El ambiente del aula.
- El resultado del aprendizaje (tanto en lo referente a conceptos como a destrezas, procedimientos y actitudes).
- La intervención del profesor.
- El tipo de ayuda que precisa el estudiante.

En lo que sigue, especificamos el proceso de evaluación que se integra en el modelo didáctico, propuesto para la enseñanza de la Física de Semiconductores en la ESO. Describiremos la evaluación atendiendo a dos aspectos⁷: 1) al momento en que se aplicará durante el proceso de enseñanza/aprendizaje (evaluación inicial o diagnóstica, evaluación formativa/formadora y evaluación final o sumativa); 2) al modo en que los alumnos valoran sus propios logros y dificultades de aprendizaje, tanto de forma individual (autoevaluación) como a través de la interacción con sus compañeros y el profesor (coevaluación). Estas dos perspectivas de la evaluación no son excluyentes entre sí y, en muchas fases del proceso educativo, estarán solapadas. Las técnicas e instrumentos de evaluación, empleados para valorar los diferentes aspectos del proceso educativo (evaluación de los distintos tipos de aprendizaje, de la metodología, de los materiales didácticos empleados, del clima del aula, de la intervención del profesor, etc.), se describen con detalle en el siguiente capítulo, al hacer alusión al diseño experimental de la investigación.

3.1. Momentos de la evaluación en la enseñanza/aprendizaje de la Física de Semiconductores

3.1.1 Evaluación inicial o diagnóstica

La evaluación inicial debe permitir al profesor hacer un *diagnóstico* de la situación de partida (los aprendizajes previos básicos relacionados con los contenidos prioritarios que se pretenden enseñar) y un *pronóstico* de cuáles pueden ser las posibilidades reales de aprendizaje. Para ello, será preciso recopilar información acerca del estado cognitivo inicial del alumno, al comienzo del proceso de enseñanza/aprendizaje, con relación al tema de estudio. En el caso de la Física de Semiconductores, los alumnos de ESO no la han estudiado antes, de modo que el análisis de estas ideas estará enfocado a conocer aquellas que tienen una relación directa con la disciplina; esto es, sobre Estructura de la materia y Electricidad, que sí son

⁷Existen numerosas modalidades de evaluación, atendiendo a diferentes circunstancias (Castillo y Cabrerizo, 2003a): al momento (*cuándo evaluar*), a las funciones (*para qué evaluar*), a los contenidos (*qué evaluar*), a los procedimientos (*cómo evaluar*), a los ejercicios (*quiénes evalúan*), etc.; si bien, aquí sólo nos ocuparemos de describir aquellas que emplearemos para valorar la eficacia de nuestro modelo didáctico, de acuerdo con los objetivos de nuestra investigación (véase capítulo 4).

contenidos contemplados en el currículo de Ciencias (Física y Química) de la ESO.

Entre las finalidades de la evaluación inicial está la de constatar si los alumnos poseen los conocimientos previos necesarios para abordar los contenidos de la materia a estudiar, así como poner en marcha elementos favorecedores destinados al aprendizaje de la materia a estudiar. Por ello, en el modelo propuesto se incluye un módulo didáctico dedicado al estudio de la '*naturaleza eléctrica de la materia*' con una doble finalidad: por un lado, conocer qué ideas tienen los alumnos acerca de este tema, directamente relacionado con la Física de Semiconductores, y, por otro, proporcionar al alumnado una formación de base necesaria para abordar el estudio de nociones de Física de Semiconductores. En consecuencia, la evaluación inicial del modelo didáctico que proponemos es, en sí misma, un proceso de evaluación integral. Se trata de valorar la eficacia del ciclo de enseñanza/aprendizaje desarrollado con el módulo (de preparación previa), desde todas las perspectivas de la evaluación (evaluación inicial, formativa/formadora y sumativa; autoevaluación y coevaluación).

La evaluación inicial, además de los propósitos anteriores, sirve al alumnado para que (Giné y Parcerisa, 2000):

- Sepa sobre qué trata el módulo didáctico y qué se pretende con su estudio, con el fin de que, desde el principio del proceso, se implique activamente.
- Refuerce su motivación.
- Le permita enfrentarse activamente, y de manera ajustada, a la metodología de trabajo que se requerirá para su aprendizaje.

Hemos de puntualizar, también, que como el modelo didáctico se desarrolla en varios módulos didácticos, que se aplican con una secuencia en orden creciente de dificultad, la información proporcionada por la evaluación final de cada módulo supone la evaluación inicial para el módulo siguiente.

3.1.2. Evaluación formativa/formadora

La *evaluación formativa* (también llamada *pedagógica*), sirve como estrategia de mejora para ajustar y regular, sobre la marcha, los procesos educativos con vistas a conseguir las metas u objetivos didácticos previstos. No tiene carácter calificador, sino que su propósito es mejorar el aprendizaje de forma continua, de manera que la valoración del aprendizaje sea utilizada para introducir cambios que permitan mejorar el proceso educativo. Castillo y Cabrerizo (2003a) dicen de la evaluación formativa lo siguiente:

La evaluación formativa en el ámbito psicopedagógico permite adaptar las actividades de enseñanza y aprendizaje a las características personales de los alumnos, con el fin de ajustar las tareas propuestas a lo que ellos son capaces de hacer.

Ayensa (2001), por su parte, señala las siguientes características de la evaluación *formativa*:

- Se produce desde el comienzo y a lo largo de todo el proceso de enseñanza/aprendizaje.
- Afecta al alumno y al proceso (en el que se incluye la propuesta didáctica, la actuación del profesor y la metodología).
- Tiene carácter individualizado, en el sentido de tratar de adaptar de forma continua el proceso de enseñanza/aprendizaje a las dificultades y necesidades del alumno.
- Trata de informar sobre el progreso en el aprendizaje e identificar las dificultades de aprendizaje y sus causas.
- Su finalidad es la de mejorar el proceso educativo.

En el modelo didáctico que proponemos, la función reguladora de la evaluación formativa se realizará en los términos siguientes (Giné y Parcerisa, 2000):

- *Ayudar al alumnado a gestionar sus errores.* Para ello, se redefinirá el concepto de error: éste no se considerará como algo nefasto que se debe evitar a toda costa (porque tiene carácter sancionador), sino que el error se considerará como algo necesario para aprender. Con el fin de que el alumnado asimile esta idea, en la dinámica de clase se tratará de hacer hincapié en que el error ha de ser el punto de partida para la superación y progreso. Esto se conseguirá ayudando al alumnado a identificar sus errores, aportándole pautas y orientaciones que les faciliten gestionarlos y, en consecuencia, superarlos; para lo cual, hay que sustituir la noción de sanción que suele atribuírsele.
- *Ayudar al alumnado a reforzar sus éxitos o aciertos.* Además de informar al alumnado que se aprende detectando y gestionando errores, se les animará haciéndoles conscientes de sus éxitos y progresos durante el aprendizaje.
- *Proporcionar información al profesor sobre cuáles son los problemas más habituales que dificultan el progreso del alumnado.* Es imposible tratar todos y cada uno de los errores y problemas que surjan en clase (máxime si hay un número considerable de alumnos en el aula); por tanto, se tratará de dar prioridad a aquellos errores más importantes y habituales, que impiden el avance del alumnado en su aprendizaje. En este sentido, aunque no es una tarea fácil, se intentará conocer cuáles son las causas de los errores que comete el alumnado y que obstaculiza su progreso en el aprendizaje.
- *Identificar cuáles son las estrategias didácticas que ayudan a mejorar al progreso del alumnado.* También es importante que la evaluación formativa proporcione información acerca de qué estrategias funcionan bien, y cuáles deben ser modificadas con vistas a mejorar el aprendizaje del alumnado.

Bajo la óptica del constructivismo, la evaluación que ha de prevalecer en el proceso educativo –sin menoscabo de las demás– es la formativa, ya que con ella se intenta ayudar al alumnado a que aprenda estrategias que le permitan planificar y controlar su propio aprendizaje. También se hace necesario transferir parte de la responsabilidad de la acción evaluativa al alumnado. En efecto, si una de las finalidades esenciales de la Educación Secundaria es que el alumnado *aprenda a aprender*, es preciso crear

mecanismos de evaluación que, manejados por el propio alumno, les sirvan para dirigir su propio aprendizaje, con vistas a que cada alumno construya un sistema personal de aprendizaje. Surge así lo que se conoce como *evaluación formadora*. Esta evaluación debe ser complementaria a la formativa, y su puesta en marcha requiere, por parte del alumno, del desarrollo de estrategias de *autorregulación* del aprendizaje; esto es, de un instrumento que le permita regular su propio aprendizaje. A través de la *autorregulación*, el alumno ha de ser capaz de (Ayensa, 2001):

- ✓ Elaborar una *representación definida de los objetivos* que se desean alcanzar, que son proporcionados por el profesor y deben ser interpretados por el alumno. Es una toma de conciencia metacognitiva⁸, con respecto a uno mismo y al contenido y situación de la tarea a la que se enfrenta.
- ✓ *Planificar las acciones y operaciones*, con el fin de alcanzar los objetivos.
- ✓ *Evaluar el control y resultado* de las acciones y gestionar los errores.

Uno de los aspectos imprescindibles en la *autorregulación* es que el alumno conozca y entienda qué *objetivos* ha de alcanzar en su aprendizaje, puesto que si no conoce, de forma precisa, las metas que debe alcanzar, difícilmente podrá planificar acciones que le permitan lograrlas. Por ello, al comienzo de cada módulo didáctico se entregará al alumnado los objetivos que se intentan alcanzar, así como los *criterios de evaluación*⁹ que se emplearán para determinar el grado de consecución de dichos objetivos. Los criterios de evaluación se enunciarán a través de unos *indicadores de evaluación*, en los que se pormenorizan los conocimientos y procedimientos que se espera alcancen los alumnos, con idea de que, con ello, valoren la evolución de su aprendizaje.

3.1.3. Evaluación final o sumativa

Chadwick y Rivera (1991, cit. en Ayensa, 2001: 168) definen la evaluación final o sumativa (también llamada acumulativa) como:

Aquella que se realiza al final de una o más unidades de aprendizaje, con el propósito de determinar si el alumno ha logrado los aprendizajes establecidos en los objetivos de dichas unidades y con el propósito de asignar calificaciones.

La evaluación final o sumativa constituye la culminación del proceso de evaluación. La finalidad de esta evaluación es hacer un balance global de los logros y dificultades de aprendizaje de cada alumno, en el desarrollo de las capacidades previstas en los objetivos de la propuesta didáctica.

⁸La *metacognición* se define como “el reconocimiento del propio conocimiento y control y regulación del los procesos cognitivos propios”.

⁹Castillo y Cabrerizo (2003a) los definen como determinaciones precisas y concretas de los rendimientos que se espera que alcancen los alumnos, a la hora de valorar si estos han desarrollado las capacidades previstas en los objetivos. Nunziati (1990, cit. en Ayensa, 2001: 168), por su parte, define los criterios de evaluación como “conjunto de normas, a menudo implícitas, a las que se refiere el profesor para decidir si un estudiante ha comprendido una lección, sabe hacer una tarea u organizar su trabajo, mantiene relaciones interpersonales positivas, etc.”.

Aun cuando la evaluación sumativa tiene carácter calificador¹⁰, en los niveles básicos de enseñanza debe estar orientada, principalmente, a ayudar al alumno a realizar una síntesis de su aprendizaje, a través de un ejercicio de recapitulación y de interrelación de los contenidos que ha ido trabajando a lo largo de la proceso de enseñanza/aprendizaje. En el modelo didáctico que proponemos, la evaluación sumativa se sitúa en esta última perspectiva; es decir, nos centramos en valorar en qué grado se han alcanzado los objetivos didácticos planteados y analizar las principales dificultades de aprendizaje mostradas por el alumnado, una vez terminado el proceso, con vistas a hacer propuestas de mejora. Téngase presente que el propósito de nuestra investigación es promover y consolidar una alfabetización científica básica en relación con la Física de Semiconductores, sin una finalidad propedéutica. Por tanto, la evaluación sumativa tendrá un carácter plenamente educativo, y no acreditativo, en el sentido de hacer una mera clasificación del alumnado según el estado cognitivo alcanzado.

En consecuencia, la evaluación sumativa, en nuestro modelo didáctico, se planteará en torno a los siguientes aspectos:

- Apreciación del grado de desarrollo de las capacidades enunciadas en los objetivos de cada uno de los módulos didácticos que componen el modelo. Para ello, se valorará:
 - 1) La asimilación de conceptos y su aplicación en la resolución de las distintas actividades propuestas en la prueba objetiva al final del proceso de enseñanza/aprendizaje.
 - 2) La utilización de los procedimientos referidos al uso de las estrategias cognitivas y métodos de observación, estudio y análisis requeridos para el descubrimiento e integración de los nuevos contenidos, y para el desarrollo de las capacidades previstas en los objetivos de cada módulo didáctico.
 - 3) La aparición de nuevas actitudes: valoración de la dinámica de las actitudes que han ido surgiendo en el alumno, conforme con los objetivos que se desarrollan en cada uno de los módulos didácticos.
- Concreción de las dificultades encontradas por los alumnos para lograr la asimilación de los contenidos, tratando de explicar su origen y causas.
- Apreciación global, tanto por parte del profesor como del alumnado, de la eficacia de todos los elementos intervinientes en el proceso educativo (intencionalidad del proceso de enseñanza/aprendizaje, planificación del proceso de enseñanza/aprendizaje, metodología, clima de la clase,...).
- Delimitación del punto de partida para los aprendizajes siguientes y de las estrategias de enseñanza/aprendizaje que se han mostrado más eficaces con el alumnado.

¹⁰La evaluación sumativa cumple, entre otras, una función social y se encuentra fuertemente ligada a las decisiones sobre la promoción de los escolares a estudios posteriores.

3.1.4. Autoevaluación y coevaluación

Un modo de implicar a los alumnos en la regulación de sus procesos cognitivos (autorregulación) es la propuesta de ejercicios de *autoevaluación* y *coevaluación*. Estas dos perspectivas de la evaluación estarán incluidas en las evaluaciones formativa y formadora.

La *autoevaluación* es un proceso mediante el cual el alumno hace una valoración sistemática y continua de su propio aprendizaje. Para ello, empleará algún patrón de referencia, que le permita determinar cuál es su estado cognitivo y si la metodología empleada es la adecuada. En esta misma línea, Castillo y Cabrerizo (2003a) señalan lo siguiente:

La autoevaluación supone el reconocimiento de las capacidades de los alumnos para diagnosticar sus posibilidades respecto de la consecución de determinados objetivos, y la participación libre en los procesos correspondientes de aprendizaje.

Es preciso señalar que la autoevaluación es un proceso que necesita ser aprendido, dado que los alumnos no están acostumbrados a practicarlo.

La autoevaluación realizada por el profesor consistirá en un ejercicio de reflexión sobre su actuación docente, con el propósito de valorar cómo se ha desarrollado el proceso de enseñanza/aprendizaje, qué aspectos deben mejorarse y cuáles han de mantenerse. Esto se llevará a cabo en el contexto de una Investigación-acción práctica.

En cuanto a la *coevaluación*, se trata de una modalidad de evaluación que hace el alumno con el profesor o junto a sus compañeros de clase. Tiene algunas ventajas sobre la autoevaluación, puesto que ayuda al alumno a hacer la valoración de una forma guiada; en cambio, en la autoevaluación existe la posibilidad de que se realice de forma defectuosa, bien porque no se comprende el sistema de comparación empleado, o bien porque no se hayan desarrollado adecuadamente los mecanismos que favorecen la autorregulación. Con respecto al profesor, la coevaluación se hará en conjunto con un experto externo, o "amigo crítico", a fin de obtener una visión más objetiva, de la práctica docente, que la realizada mediante la autoevaluación.

4. Concreción del modelo: propuesta fundamentada de módulos didácticos de física de semiconductores

Sobre la base de lo expuesto anteriormente, y las orientaciones descritas en la fundamentación teórica, diseñamos los cinco módulos didácticos, con enfoque constructivista, que conforman el modelo didáctico que proponemos para la enseñanza/aprendizaje de la Física de Semiconductores en la ESO.

En el diseño de los módulos, hemos tomado como guía orientativa una plantilla de interrogantes (tabla 5.2) –adaptada de Castillo y Cabrerizo¹¹ (2003b: 30)– con objeto de tener, a priori, ciertas garantías de que la secuenciación y desarrollo de los contenidos están en consonancia con las

¹¹Los autores proponen estos interrogantes como indicadores orientativos para la evaluación global de una unidad didáctica.

características esenciales de un programa-guía de actividades con enfoque constructivista.

1. ¿Hay coherencia entre los objetivos y los contenidos?
2. ¿Se especifica claramente cuáles son los criterios de evaluación?
3. ¿Recoge contenidos conceptuales?
4. ¿Recoge contenidos procedimentales?
5. ¿Recoge contenidos actitudinales?
6. ¿Hay coherencia entre contenidos y actividades?
7. ¿Son apropiados los materiales y recursos didácticos propuestos?
8. ¿Los contenidos mantienen una dificultad progresiva?
9. ¿Existen relaciones explícitas entre distintas actividades propuestas?
10. ¿Son sugerentes y motivadoras las actividades propuestas para el alumnado?
11. ¿Permite la autorregulación y la autoevaluación del alumnado?
12. ¿Posibilita el trabajo autónomo del alumnado?
13. ¿Se propicia la coevaluación?
14. ¿Se facilita la participación activa del alumnado?
15. ¿Permiten las actividades valorar el aprendizaje según los criterios de evaluación establecidos?

Tabla 5.2.- Plantilla de interrogantes de referencia para la secuenciación y desarrollo de los contenidos de los módulos didácticos.

En cada módulo, se detallan los objetivos didácticos que se persiguen con su estudio; los contenidos conceptuales, procedimentales y actitudinales que se proponen, junto con un mapa conceptual donde se presenta, de forma compacta, el desarrollo de los conceptos; los criterios de evaluación, con sus correspondientes *indicadores de evaluación*, que se van a tener en cuenta para valorar el aprendizaje de los alumnos; y la temporización prevista para su estudio en el aula. Finalmente, se expone el conjunto de actividades de enseñanza/aprendizaje que componen el módulo. Las actividades van acompañadas de unos *comentarios*, en los que se indican los propósitos y algunas orientaciones para un adecuado desarrollo de las mismas en el aula. Los comentarios han de ser considerados sólo como sugerencias y no como *'recetas didácticas'*, ya que ha de ser cada profesor o profesora quien enfoque las actividades según las necesidades de su alumnado; es decir, haga las modificaciones pertinentes, formule sus propios enunciados, establezca el orden de secuenciación más oportuna, etc. En consecuencia, las actividades que se proponen deben ser consideradas como un referente en la elaboración de otras propuestas didácticas, dirigidas a la enseñanza de la Física de Semiconductores, que han de ser ajustadas convenientemente a cada contexto educativo. Esto, como ya insistimos en el capítulo 3, debe provenir de la *reflexión en la acción* llevada a cabo por el profesor en su clase, ya que, de lo contrario, las modificaciones resultarán ineficaces ante los problemas de aprendizaje de los alumnos.

4.1 Módulo I: "Los materiales semiconductores en el desarrollo de la Electrónica"

Este primer módulo es de *presentación y justificación del tema*. Su planteamiento se hace desde una perspectiva Ciencia-Tecnología-Sociedad (CTS) y está orientado a exponer la importancia de los materiales semiconductores en el desarrollo de la Electrónica. Se trata de que los alumnos asuman la necesidad de abordar el estudio de la Física de Semiconductores (base científica de la Electrónica), con el fin de comprender el entorno científico-tecnológico en que se desenvuelven, dominado por la Electrónica. Dadas sus características, el módulo también podrá ser introducido en el área de Tecnología, siempre que se establezca la correspondiente coordinación con la asignatura de Física y Química.

♦ *Objetivos*

Con el estudio del módulo, se espera que los alumnos y alumnas desarrollen las siguientes capacidades:

4.1.3.1.1.1. Reconozcan la importancia de los materiales semiconductores en el desarrollo de la Electrónica y, consecuentemente, en el desarrollo tecnológico actual.

4.1.3.1.1.2. Asuman la necesidad de abordar el estudio de la Física de Semiconductores, con el fin de que comprendan el entorno científico-tecnológico en que se desenvuelven, dominado por la Electrónica (relaciones CTS).

♦ *Contenidos*

Con el propósito de alcanzar los objetivos didácticos enunciados, se proponen los contenidos que siguen.

Conceptos ¹²	Procedimientos	Actitudes
	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Identificación de situaciones cotidianas en las que se manifiesta la presencia de los dispositivos semiconductores. ➤ Búsqueda de información (prensa, bibliotecas, Internet,...) sobre aspectos relacionados con los semiconductores. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Reconocimiento y valoración de la importancia de la Electrónica en la calidad de vida y el desarrollo industrial y tecnológico. ➤ Fomento de actitudes positivas y de interés por el estudio de la Física de Semiconductores como base del desarrollo de la Electrónica.

Con objeto de ofrecer una visión global y coherente del contenido del módulo, mostramos el *mapa conceptual* de la figura 5.3.

¹²Dado que se trata de un módulo preliminar, cuyo fin es justificar a los alumnos la necesidad de abordar el estudio de los semiconductores, no se establecen contenidos conceptuales.

♦ *Criterios e indicadores de evaluación*

Los criterios e indicadores de evaluación, que proponemos para valorar el grado de consecución de los objetivos, se detallan en lo que sigue.

En relación con la Física de Semiconductores
1) Valora la importancia de la Física de Semiconductores en el desarrollo de la Electrónica, como base del desarrollo científico-tecnológico de los últimos tiempos.
2) Identifica situaciones cotidianas en las que se manifiesta la presencia de los dispositivos semiconductores.
En relación con la expresión y la comprensión
3) Analiza críticamente la información recogida en diversas fuentes, diferenciando lo relevante de lo accesorio y los datos de las opiniones, relativo a la Física de Semiconductores.
4) Comunica con claridad y precisión las conclusiones de una investigación.
En relación con la participación y el trabajo en equipo
5) Se implica en la realización de las tareas de clase.
6) Participa activamente en las actividades organizadas en grupo, asumiendo su parte de responsabilidad, mostrándose respetuoso con las opiniones de los demás y defendiendo las propias con argumentos basados en sus conocimientos científicos.

♦ *Temporización*

El tiempo previsto para el desarrollo del módulo es de 2 sesiones de 1 hora cada una.

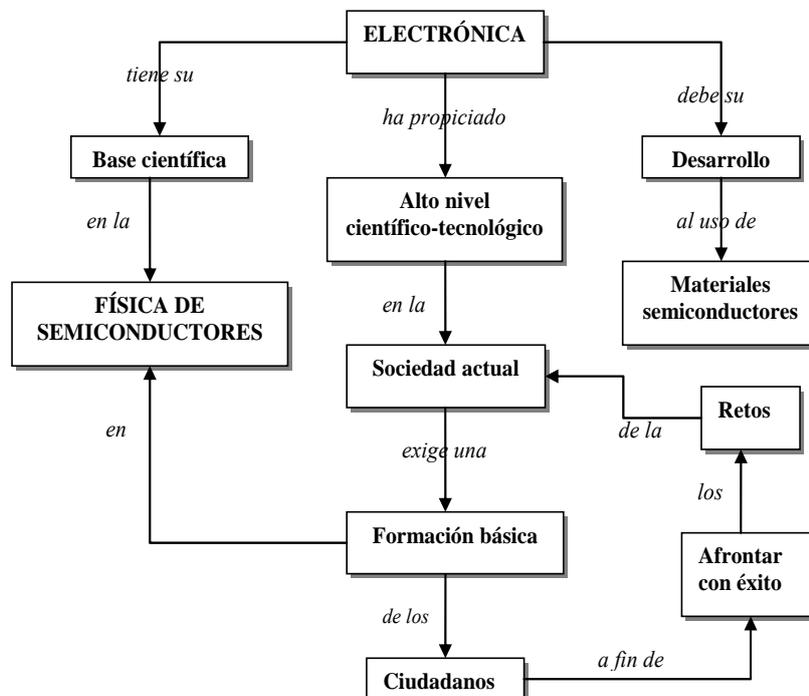


Figura 5.3.- Mapa conceptual: Los materiales semiconductores en el desarrollo de la Electrónica.

♦ *Actividades de enseñanza/aprendizaje*

A continuación, presentamos la propuesta de actividades en el estudio del módulo. Cada actividad va acompañada de unos *comentarios*, cuyo propósito es servir de orientación o guía para su adecuado desarrollo en el aula.

A.1 *Lee con atención el siguiente texto¹³ y después contesta a las cuestiones que se proponen al final.*

**LA EDAD DE LA INFORMACIÓN, AL FIN RECONOCIDA
Premio Nobel de Física 2000**

¿Qué es más importante, hacer o pensar? ¿Qué viene antes, la Ciencia o la Técnica? Repasando la Historia queda claro que la Tecnología casi siempre ha precedido a la Ciencia. Pero con su salomónica decisión de este año, el Comité Nobel de Física nos ha venido a recordar que, en nuestros días, ambas están unidas simbióticamente, se alimenta una a otra y se contribuye así a avances cada vez más rápidos.

Siguiendo casi literalmente las instrucciones de sus estatutos, de conceder el premio Nobel de Física a "quien durante años anteriores haya proporcionado el mejor beneficio a la Humanidad con su descubrimiento o invención en el campo de la Física", el Comité ha elegido para el premio de este año a Jack Kilby (1959) por la invención del circuito integrado, y a Zhores Alferov y Herbert Kroemer (1957-1963) por el desarrollo de las heteroestructuras de semiconductores que se usan en comunicaciones.

[...] Basta mirar alrededor, o comparar nuestra vida hoy con la de hace treinta años, para apreciar el impacto de las Tecnologías de la Información. Es difícil, si no imposible, encontrar un aspecto de nuestra civilización que no haya sido profundamente afectado por el ordenador y las telecomunicaciones. El papel esencial del transistor, en la primera fase de esta revolución, fue reconocida tan sólo nueve años después de su invención (Bardeen, Brattain y Shockley recibieron por ello el premio Nobel en 1956). Pero sin otras dos piezas cruciales, el circuito integrado y la heteroestructura de semiconductores, la actual Era de la Información nunca habría llegado. Esto es lo que finalmente ha reconocido el premio Nobel de Física de este año.

[...] En un brote de inspiración, Kilby (1959) concibió el modo de miniaturizar los circuitos, fabricando resistencias y condensadores en el mismo trozo de silicio que los transistores. A nadie en su sano juicio "se le habría ocurrido preparar entonces todos esos componentes a partir de un semiconductor, que además de no ser el mejor material para ello, era increíblemente caro", diría Kilby años más tarde. Menos de dos meses después de su idea original, Kilby la demostró experimentalmente con un primitivo circuito integrado de germanio, formado por un transistor, una resistencia y un diodo que hacía las veces de un condensador, conectados entre sí con hilos de oro. A los diez días ya tenía un circuito con dos transistores. Los meses siguientes fueron de progreso vertiginoso, y se mejoró la manera de definir y grabar en la superficie del material semiconductor los componentes individuales.

[...] En 1961 Texas Instruments anunció un pequeño ordenador con 587 circuitos integrados, cada uno de ellos del tamaño de un grano de arroz y con una docena de componentes. El poder de cálculo del nuevo ordenador era el mismo que el de uno convencional formado por circuitos impresos, cincuenta veces más pesado. En 1971 se inventó en Intel [...] el microprocesador, que albergaba un ordenador completo en un único circuito formado por 2.300 transistores. Desde entonces, el número de componentes y la capacidad de procesar información de los circuitos integrados se ha doblado aproximadamente cada dos años (ley de Moore), y el precio del transistor ha disminuido considerablemente. Hoy en día un microprocesador Pentium IV, en un ordenador de uso diario, contiene unos 20 millones de transistores; un circuito de memoria, hasta diez veces más. Con un euro se podrían comprar cientos de transistores, que puestos en fila cabrían en el grueso de un cabello.

¹³Adaptado del artículo publicado por Méndez (2000).

Los hallazgos de Kroemer y Alferov (1957-1963), demostrados en muchas familias de semiconductores, son el fundamento de los dispositivos electrónicos que gobiernan, hoy día, el funcionamiento de la telefonía móvil, las calculadoras, las videoconsolas, los televisores, los ordenadores, los relojes digitales y un largo etcétera. De modo que con esto se ha marcado un antes y un después en el desarrollo de la Humanidad, dando lugar a una nueva era de las comunicaciones, que algunos han denominado "Sociedad Cableada".

- (a) Busca en un diccionario o enciclopedia las palabras que no entiendas.
- (b) Haz un resumen del texto.
- (c) ¿Qué es un circuito integrado? ¿A partir de qué materiales se fabrican?
- (d) ¿Qué ha supuesto la utilización de los materiales semiconductores en el desarrollo de las comunicaciones?
- (e) Busca información sobre las propiedades de los materiales semiconductores.

Comentarios

La finalidad de esta primera actividad, con un marcado enfoque CTS, es mostrar a los semiconductores como la base esencial del desarrollo de la Electrónica. Es, por tanto, una actividad con la que tratamos de justificar a los alumnos la necesidad de abordar el estudio de los semiconductores, pues ello les ha de permitir comprender el entorno tecnológico en que se desenvuelven, dominado por aparatos electrónicos. Conviene destacar, también, el énfasis que se hace sobre la importancia de la Física en el desarrollo de la tecnología electrónica (es el premio Nobel de Física), y, por consiguiente, en la necesidad de que exista una interrelación entre la Física y la Tecnología.

Las cuestiones que se plantean son de dos tipos. Las cuestiones (a), (b), (c) y (d) son de comprensión del texto, y sus respuestas se encuentran en el propio texto; y la cuestión (e) es de investigación bibliográfica, que está al alcance de los alumnos, ya que en cualquier enciclopedia actual, o en Internet, aparece abundante información sobre el tema. Se trata, con esta última cuestión, de que los alumnos tengan un primer contacto con información sobre semiconductores, aun cuando no lleguen a comprenderla, y asuman que estos se encuentran dentro del contexto de la Electrónica y, por tanto, en los aparatos que manejan a diario (vídeo consolas, ordenadores, móviles,...).

Al finalizar la actividad, y con objeto de motivar aún más a los alumnos sobre el tema, se puede organizar un debate en torno a la presencia de la Electrónica en la vida diaria; una parte de la clase defenderá las ventajas y la otra los inconvenientes, y al final se hará una valoración de las conclusiones de una y otra parte. Este tipo de debates, donde el profesor ha de actuar como moderador, permite desarrollar en los alumnos una actitud crítica y de reflexión, que también juega un papel fundamental en el aprendizaje de las Ciencias.

A.2 *Seguramente has comprobado que, en un breve periodo de tiempo, los teléfonos móviles han reducido su tamaño considerablemente, a la vez que han mejorado sus prestaciones. Según lo que has leído en la actividad anterior, ¿a qué se debe esto?. ¿Cómo se denomina la ley que pronostica esa reducción continua del tamaño de los aparatos electrónicos?*

Comentarios

En la misma línea de la actividad anterior, tratamos de reforzar el hecho de que los grandes avances en el mundo de las comunicaciones, y más concretamente en la Electrónica, son debidos a los logros obtenidos con los materiales semiconductores. Los alumnos han de comprender que el estudio de los semiconductores se hace necesario para conseguir circuitos integrados cada vez más pequeños y eficientes; lo que permite obtener aparatos electrónicos con mejores prestaciones. Tal es el caso de los teléfonos móviles, a los que hemos hecho alusión por la gran presencia que, actualmente, tienen entre los jóvenes. Estos experimentan importantes avances en periodos cortos de tiempo; lo cual viene a reafirmar la *ley de Moore*, que pronostica la miniaturización de los dispositivos semiconductores a la mitad cada dos años aproximadamente. En este sentido, y a título informativo, el profesor hará referencia a la venidera tecnología "Nanoelectrónica", que sustituirá a la actual "Microelectrónica" (dispositivos electrónicos con dimensiones del orden de 10^{-6} m), donde el tamaño de los circuitos integrados se reduce en unas mil veces (del orden de 10^{-9} m). Con objeto de obtener más información sobre cuáles son las tendencias actuales, se sugiere la lectura del artículo de Bernier (2001).

A.3 ¿Qué te sugiere la palabra 'chip'? Busca información sobre este término.

Comentarios

En la actividad, hemos recurrido a un término extendido en nuestra sociedad, del que se suele hablar en distintos contextos cotidianos, sin que se tenga una información precisa sobre él. Así, es habitual utilizar expresiones como "me voy a encender el chip", "iconéctate el chip!" o "icambia el chip!".

Normalmente, cuando se pregunta qué es un 'chip', los alumnos suelen dar respuestas como "algo pequeñito que se encuentra en los ordenadores y demás aparatos electrónicos". Sin embargo, no hacen referencia a los materiales con los que se fabrican. En este sentido, el propósito de la actividad es que los alumnos, al buscar información, encuentren que el elemento esencial en la fabricación de los chip es el material semiconductor (silicio o germanio); con lo cual, queda justificada, aún más si cabe, la importancia de los semiconductores en el desarrollo de la Electrónica. A este respecto, se aconseja la lectura del artículo de Weisbuch (2001).

Con objeto de que los alumnos comprendan el proceso de fabricación de un chip, de un modo más sencillo al que van a encontrar en las enciclopedias y libros especializados, es conveniente que el profesor disponga de una bibliografía –tanto en papel como digital– que aborde el tema en consonancia con la capacidad y el desarrollo intelectual de los alumnos de la ESO. A este respecto se aconseja la consulta de Macaulay y Ardley (1998).

4.2 Módulo II: "Naturaleza y comportamiento eléctrico de la materia"

El módulo es de *preparación previa*. Se intenta que el alumnado adquiera los conocimientos previos necesarios sobre la naturaleza y el

comportamiento eléctrico de la materia, antes de comenzar el estudio de los conceptos básicos de Física de Semiconductores.

♦ *Objetivos*

Con el estudio del módulo, se espera que los alumnos desarrollen las capacidades siguientes:

1. Adquieran los conocimientos previos suficientes sobre la estructura atómica y naturaleza eléctrica de la materia para iniciar el estudio de los conceptos básicos de Física de Semiconductores.
2. Obtengan los conocimientos suficientes sobre la conducción eléctrica en distintos materiales, a partir de los conceptos elementales de Electricidad y Estructura Atómica de la Materia.
3. Definan los conceptos de conductor y aislante de la electricidad, así como las diferencias entre ellos.

♦ *Contenidos*

Con el fin de alcanzar los objetivos didácticos enunciados, se proponen los contenidos que siguen.

Conceptos	Procedimientos	Actitudes
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Estructura atómica. Naturaleza eléctrica de la materia. Configuración electrónica de los elementos. Regla del octeto. ➤ Fenómenos de electrización. Conducción eléctrica en la materia. Conductores y aislantes. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Análisis de algunos fenómenos en los que se ponga de manifiesto la naturaleza eléctrica de la materia. ➤ Descripción de los fenómenos de electrización y su relación con la conducción de la electricidad en los cuerpos. ➤ Obtención de la configuración electrónica de algunos elementos conductores y aislantes. ➤ Realización de representaciones y experiencias sencillas que permitan distinguir entre conductores y aislantes. ➤ Elaboración de diagramas conceptuales ordenados y con estructuración coherente. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Fomento de hábitos de trabajo coherentes con la metodología científica. ➤ Reconocimiento y valoración de la importancia del trabajo en equipo en la planificación y realización de las actividades. ➤ Fomento de actitudes positivas y de interés por el estudio de la estructura atómica y naturaleza eléctrica de la materia. ➤ Adquisición de ideas científicas correctas sobre la estructura atómica y naturaleza eléctrica de la materia.

Con objeto de ofrecer una visión global y coherente de los conceptos que se desarrollan en el módulo, presentamos el *mapa conceptual* de la figura 5.4.

♦ *Criterios e indicadores de evaluación*

Los criterios e indicadores de evaluación propuestos para valorar el grado de consecución de los objetivos, se establecen en lo que sigue.

En relación con la adquisición de conceptos
1) Explica la conducción eléctrica de la materia a partir de la estructura atómica y naturaleza eléctrica de la materia. 2) Comprende los fenómenos de electrización. 3) Obtiene la configuración electrónica de los elementos principales, metálicos y no metálicos, de la tabla periódica, y distingue los electrones de valencia 4) Define y distingue los conceptos de conductor y aislante de la electricidad. 5) Identifica situaciones cotidianas en las que se manifiesta la naturaleza eléctrica de la materia.
En relación con el planteamiento de situaciones problemáticas
6) Formula hipótesis y lleva a la práctica una estrategia concreta de resolución, y comprueba, con actitud crítica, las soluciones posibles que plantea un problema. 7) Manifiesta actitudes de curiosidad e interés por indagar cuestiones relacionadas con la Estructura atómica y naturaleza eléctrica de la materia.
En relación con la expresión y la comprensión
8) Elabora diagramas conceptuales ordenados y con estructuración coherente sobre lo estudiado. 9) Analiza críticamente la información recogida en diversas fuentes, diferenciando lo relevante de lo accesorio y los datos de las opiniones, relacionada con la Física de Semiconductores. 10) Comunica con claridad y precisión las conclusiones de una investigación.
En relación con la participación y el trabajo en equipo
11) Se implica en la realización de las tareas de clase. 12) Participa activamente en las actividades organizadas en grupo, asumiendo su parte de responsabilidad, mostrándose respetuoso con las opiniones de los demás y defendiendo las propias con argumentos basados en sus conocimientos científicos.

♦ *Temporización*

El tiempo previsto para el desarrollo del módulo es de *4 sesiones* de 1 hora cada una.

♦ *Actividades de enseñanza/aprendizaje*

A continuación, presentamos la propuesta de actividades destinadas al estudio del módulo. Cada actividad va acompañada de unos *comentarios*, cuyo propósito es servir de orientación o guía para su adecuado desarrollo en el aula.

A.1 Completa el siguiente texto con las palabras que faltan:

“Los átomos se componen de núcleo y corteza. En el núcleo atómico se encuentran los _____, que tienen carga positiva, y los _____, que no tienen carga eléctrica. En la corteza atómica, girando alrededor del núcleo, se encuentran los _____, cuya carga eléctrica es _____ que la del protón, pero de signo _____. En un átomo, el número de _____ es igual al de _____; por tanto, un átomo es eléctricamente neutro.”

Comentarios

Con esta actividad, los alumnos repasarán la estructura interna del átomo, que es esencial para comprender el comportamiento eléctrico de la materia. El modelo atómico que se presenta es el de Rutherford, que es el que se recomienda para este nivel de enseñanza (García Carmona, 2002). La lectura del texto ha de ser la siguiente:

“Los átomos se componen de núcleo y corteza. En el núcleo atómico se encuentran los protones, que tienen carga positiva, y los neutrones, que no tienen carga eléctrica. En la corteza atómica, girando alrededor del núcleo, se encuentran los electrones, cuya carga eléctrica es igual que la del protón, pero de signo contrario. En un átomo, el número de electrones es igual al de protones; por tanto, un átomo es eléctricamente neutro.”

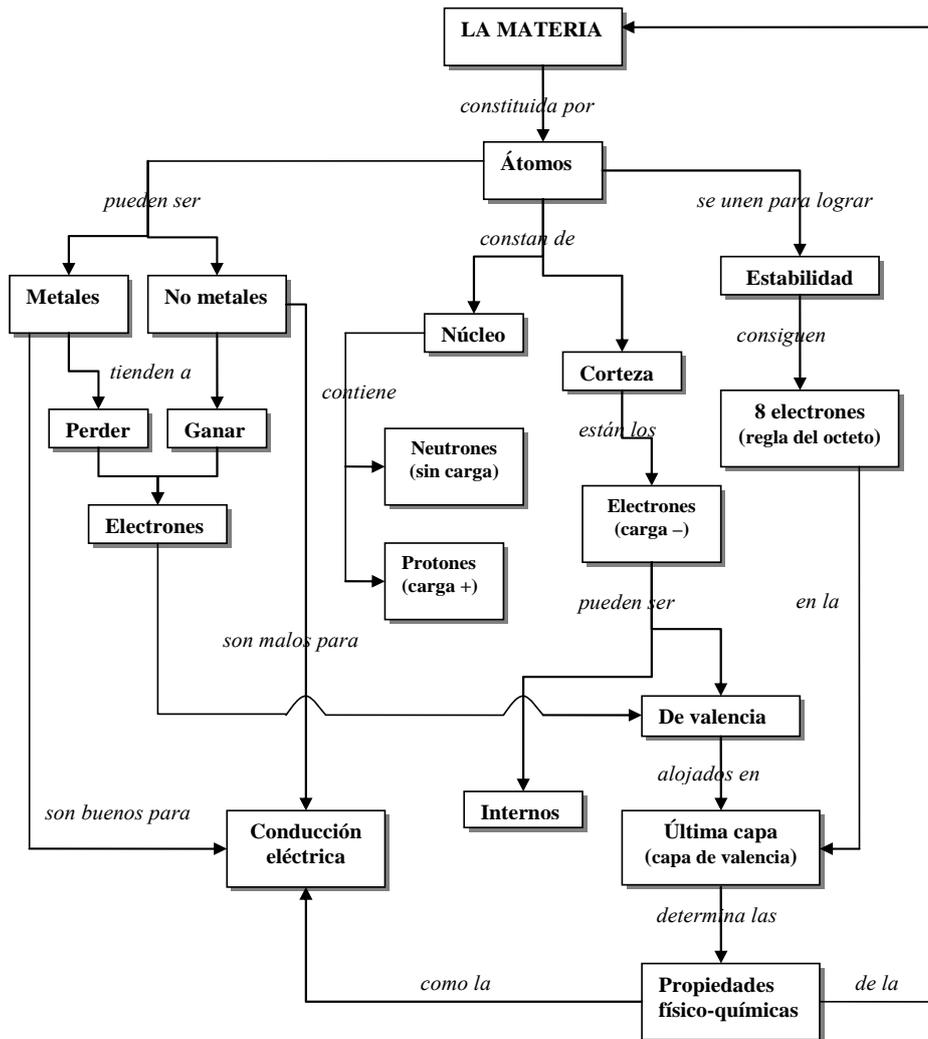


Figura 5.4.- Mapa conceptual: Naturaleza y comportamiento eléctrico de la materia.

A.2 *Sabes que la materia está constituida por átomos y que, por tanto, contiene cargas eléctricas; luego, ¿por qué la mayoría de los cuerpos que nos rodean son eléctricamente neutros?*

Comentarios

La actividad conduce al concepto de carga neta. Los alumnos suelen presentar dificultades a la hora de distinguir entre 'poseer carga' y 'estar cargado'. Así, es frecuente la idea de que un cuerpo está cargado por el hecho de poseer cargas, sin tener en cuenta si el efecto global de esas cargas es el estado eléctricamente neutro. Por tanto, se ha de insistir en que el estado eléctrico de un cuerpo viene determinado por su carga neta; y sólo en el caso en que esa carga neta sea distinta de cero, se afirmará que el cuerpo está cargado.

Con relación a la cuestión planteada en la actividad, los alumnos han de concluir que los cuerpos, al estar constituidos por átomos, son eléctricamente neutros, ya que tienen el mismo número de electrones y de protones. Sólo en el caso en que haya un desequilibrio entre ambas cargas, tendremos un cuerpo cargado. Al respecto, conviene aclarar que esta situación no es estable, ya que la tendencia natural de un cuerpo cargado es intentar alcanzar el estado neutro.

A.3 *Se dice que un cuerpo está cargado eléctricamente cuando tiene un exceso de electrones o de protones. Todos los cuerpos existentes en la naturaleza se presentan eléctricamente neutros, mientras no se rompa el equilibrio entre el número de protones y de electrones. Cuando un cuerpo pierde electrones tendrá una carencia de carga negativa, y decimos que está cargado positivamente. Por el contrario, si un cuerpo gana electrones pasa a tener un exceso de carga negativa. En cualquiera de los casos, un cuerpo se carga eléctricamente cuando experimenta una pérdida o una ganancia de electrones. Busca información acerca de cómo se electrizan los cuerpos.*

Comentarios

La actividad complementa a la anterior. En ella, por un lado, se ofrece la información a la que se ha debido llegar en la actividad 2; con lo cual, los alumnos pueden revisar sus respuestas. Por otro, se insiste en que la electrización de la materia se debe exclusivamente a la pérdida o ganancia de electrones, y nunca de protones. Hay que indicar, al respecto, que los alumnos son propensos a pensar que un cuerpo se carga positivamente cuando gana protones; de ahí que, en nuestra opinión, sea más conveniente decir que un cuerpo cargado positivamente es aquel que tiene una carencia de electrones en lugar de un exceso de protones.

Con el propósito de que los alumnos repasen las formas de electrizar la materia, se pide que busquen información sobre la electrización por fricción, por inducción y por contacto. En la electrización por fricción, la energía aportada (en forma de calor) hace que los electrones transiten de un cuerpo al otro, por ejemplo, de una barra de vidrio hasta el paño de seda con el que se ha frotado. Como consecuencia de ello, el vidrio queda con un defecto de electrones, y la seda con un exceso de electrones; con lo cual, el vidrio queda cargado positivamente y el paño negativamente (figura 5.5a). La electrización por inducción consiste en acercar un cuerpo cargado, por ejemplo, positivamente, a otro eléctricamente neutro; de manera que en el

cuerpo neutro aparece una separación de cargas¹⁴ tal y como se indica en la figura 5.5b. Si ahora se ponen ambos cuerpos en contacto, los electrones pasarán del cuerpo neutro al cuerpo con carga positiva, a fin de compensar el defecto de electrones del último (figura 5.5c); de este modo, el cuerpo inicialmente neutro pasa a estar cargado positivamente.

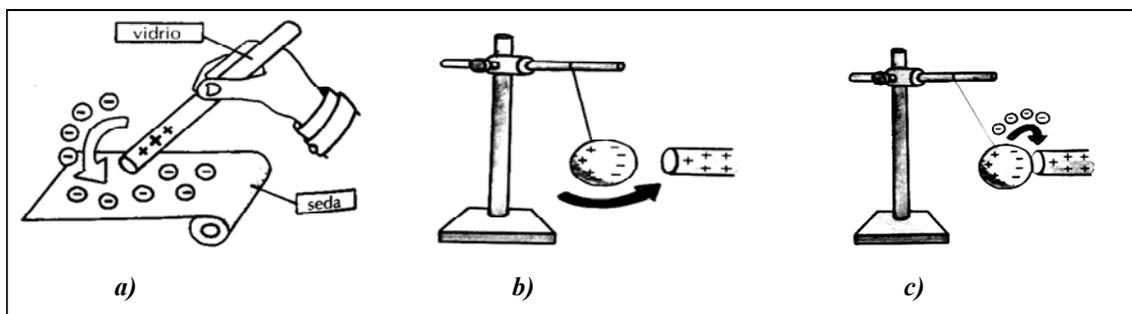


Figura 5.5.- Fenómenos de electrización: a) por fricción, b) por inducción y c) por contacto.

A.4 Ya hemos visto, en la actividad 1, que los electrones se encuentran en la corteza del átomo girando alrededor del núcleo. La corteza está compuesta por distintos niveles o capas en las que se alojan un cierto número de electrones. La 1ª capa admite hasta 2 electrones, la 2ª capa hasta 8 electrones, la 3ª capa hasta 18 electrones, la 4ª capa hasta 32, etc. En general, para la capa n el número máximo de electrones será $2n^2$. A la distribución de los electrones, en las diferentes capas, se denomina **configuración electrónica**. Los electrones alojados en la capa más externa son los que determinan las propiedades físicas y químicas de los átomos y, por tanto, de la materia que componen. Se les denomina electrones de valencia.

- (a) Investiga cuál es la configuración electrónica y los electrones de valencia de los siguientes elementos: Na, K, Cl, F.
 (b) Dibuja un esquema de cada uno de estos átomos con la distribución de los electrones en las distintas capas.

Comentarios

Con el fin de llegar a comprender la conducción eléctrica en la materia, es preciso conocer antes cómo se distribuyen los electrones en el interior de los átomos. En la actividad introducimos la configuración electrónica de los elementos, y destacamos el papel de los electrones de valencia en las propiedades físico-químicas de los materiales. Con las cuestiones de la actividad, sólo se intenta que los alumnos obtengan la distribución de los electrones en los distintos niveles de energía electrónica –sin hacer mención a los subniveles energéticos–, y sean capaces, por tanto, de identificar el número de electrones de valencia.

En el nivel de ESO, los alumnos pueden obtener la configuración electrónica con ayuda de la tabla periódica. El periodo les indicará el número de niveles a rellenar, y el grupo, el número de electrones del último nivel o capa de valencia.

¹⁴Conviene aclarar a los alumnos que la separación de cargas (Fig.5.5b) se debe exclusivamente al movimiento de los electrones. Estos se acercan lo más posible a la barra, con carga positiva, debido a la atracción. Lo cual produce un exceso de electrones en la zona de la esfera más próxima a la barra y, consecuentemente, un exceso de carga positiva en la parte alejada la barra. En ningún caso se debe la separación de cargas a un movimiento de protones.

Con relación al apartado (a), los alumnos han de obtener las siguientes configuraciones electrónicas (el número de electrones de valencia va representado en negrita): Na (2, 8, **1**), K (2, 8, 8, **1**), Cl (2, 8, **7**) y F (2, **7**). Y con relación al apartado (b), se dibujan los esquemas de la figura 5.6.

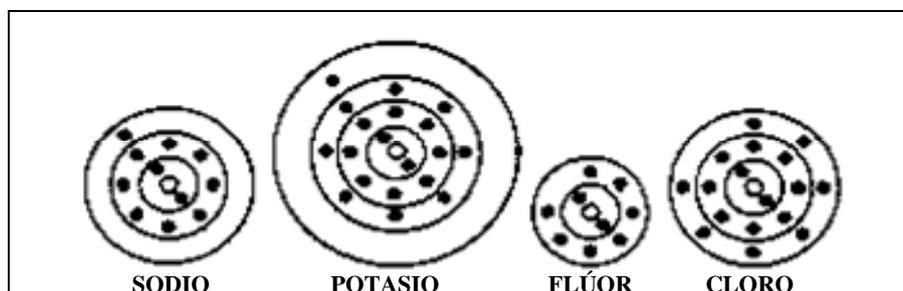


Figura 5.6.- Representación esquemática bidimensional de la configuración electrónica de los átomos de sodio, potasio, cloro y flúor.

A.5 De todos los elementos de la tabla periódica, los gases nobles son los más estables, desde el punto de vista químico. Esto quiere decir que los encontramos en la naturaleza sin estar combinados con átomos de otros elementos. Todos los gases nobles tienen 8 electrones en su capa más externa (excepto el helio que sólo tiene 2 y es estable). Así, en la naturaleza todos los átomos tratan de conseguir la misma estabilidad que los gases nobles; esto es, conseguir en su capa más externa 8 electrones: **regla del octeto**. Por eso, los átomos se combinan entre sí con la finalidad de formar compuestos químicos, ya que ello les permite tener los 8 electrones de valencia.

(a) En los átomos de la actividad anterior, cuyas configuraciones electrónicas ya has encontrado, indica cuántos electrones necesitan en su capa más externa para alcanzar la estabilidad de gas noble.

(b) ¿Cuáles de esos átomos conseguirán con mayor facilidad su estabilidad? ¿Por qué?

Comentarios

Enlazada con la actividad anterior, en ésta se ofrece información sobre cómo los átomos alcanzan su estabilidad, en función del número de electrones de valencia que poseen. Asimismo, sirve de ayuda en la introducción del carácter metálico y no metálico de los elementos en la actividad siguiente.

Aquí, los alumnos han de concluir que la estabilidad de los átomos será tanto más fácil de alcanzar cuanto menor número de electrones hayan de ganar (no metales) o perder (metales), hasta poseer 8 electrones en la última capa (regla del octeto). Al respecto, cabe destacar que los alumnos suelen aplicar siempre esta regla en términos de ganancia de electrones. Es decir, en el caso del sodio y el potasio, consideran que la estabilidad vendrá dada por la 'ganancia de 7 electrones', en lugar de que estos pierdan el electrón de valencia que poseen, con el fin de que la penúltima capa, con 8 electrones, pase a ser la capa más externa que los estabiliza –se incide sobre ello en la siguiente actividad–.

A.6 Has observado, en la actividad anterior, que a unos átomos les faltan más electrones que a otros para alcanzar la estabilidad. En el caso del flúor (F) y el cloro (Cl), estos tienen 7 electrones de valencia; por tanto, sólo les falta adquirir un electrón para ser estables. Por el contrario, el sodio (Na) y el potasio (K) tienen un

electrón de valencia que los hace inestables. Es fácil pensar que a estos les será más fácil desprenderse de ese electrón que ganar 7 para ser estables. Lo cual responde a que en la penúltima capa tienen 8 electrones, y, si pierden el electrón de valencia, esa penúltima capa pasa a ser la capa más externa; con lo cual consiguen tener los 8 electrones requeridos para su estabilidad. Los átomos que tienen pocos electrones de valencia (menos de 4 electrones) y que, por tanto, tienden a perder sus electrones de valencia, se denominan **metales**; mientras que los que tienden a ganar electrones se denominan **no metales**.

(a) Clasifica los veinte primeros elementos de la tabla periódica en metálicos y no metálicos.

(b) Busca información en algún libro técnico, Internet o enciclopedia las propiedades de los elementos metálicos y no metálicos, y haz un cuadro comparativo.

Comentarios

Es una actividad de información que, por un lado, trata de reforzar y sintetizar los aspectos tratados en la actividad anterior, con respecto a la regla del octeto; y, por otro, introduce el carácter metálico y no metálico de los elementos, en función de la tendencia a perder o ganar, respectivamente, electrones con el fin de lograr la estabilidad. Con relación a la cuestión (a), su finalidad es que los alumnos se familiaricen con los elementos metálicos y no metálicos más habituales, aprovechando que saben manejar la tabla periódica de los elementos. Respecto a la cuestión (b), se intenta que los alumnos obtengan información sobre las propiedades de los metales y no metales, y detecten que una de las principales diferencias entre estos es la capacidad de conducir la electricidad por su interior.

A.7 Dentro del conjunto de los elementos metálicos, hay unos que tienen mayor actividad electrónica que otros; es decir, que ceden con más facilidad sus electrones de valencia. Del mismo modo, en los no metales también hay unos con más actividad electrónica que otros, en el sentido de que son más tendentes a ganar los electrones que le faltan.

(a) Dados los siguientes elementos metálicos, cuyas configuraciones electrónicas se acompañan, indica cuál presenta mayor carácter metálico (mayor actividad electrónica): Rb (2, 8, 18, 8, 1); Ca (2, 8, 8, 2); In (2, 8, 18, 18, 3).

(b) Haz lo mismo con los siguientes elementos no metálicos: Cl (2, 8, 7); S (2, 8, 6); P (2, 8, 5).

Comentarios

La actividad trata de complementar a la anterior. En ella se incide en el mayor o menor carácter metálico y no metálico de los elementos, en función del número de electrones de valencia que poseen. Los alumnos han de comprender que en el conjunto de los metales, aquellos que poseen menor número de electrones de valencia presentan un mayor carácter metálico; mientras que en el conjunto de los no metales, un elemento tiene mayor carácter no metálico cuantos más electrones de valencia posee. Se podría hablar de la *electronegatividad* de los elementos; sin embargo, este concepto como tal no suele introducirse en el nivel de ESO. En su lugar, hemos optado por hablar de mayor o menor actividad electrónica.

Con relación al apartado (a), el elemento que presenta mayor carácter metálico es el rubidio, seguido del calcio, y, por último, el indio. Con

respecto al apartado (b), el elemento con mayor carácter metálico es el cloro, seguido del azufre y, finalmente, el fósforo.

A.8 Cuando un cuerpo queda cargado eléctricamente, bien con carga positiva (defecto de electrones) o bien con carga negativa (exceso de electrones), tiende siempre a alcanzar el estado neutro (igualar el número de protones y electrones). A continuación, observa el esquema de la figura 5.7. Se tiene un cuerpo A cargado positivamente y un cuerpo B cargado negativamente. Ambos están unidos por cierto material C, que permite el paso de cargas de uno a otro. Determina:

- (a) ¿Qué cargas (electrones o protones) circularán por el material C, con el fin de establecer la neutralidad eléctrica de cada cuerpo? ¿En qué sentido lo harán?
- (b) ¿Qué características debe tener el material C utilizado en el montaje? ¿Cómo se denominan estos materiales en Electricidad?

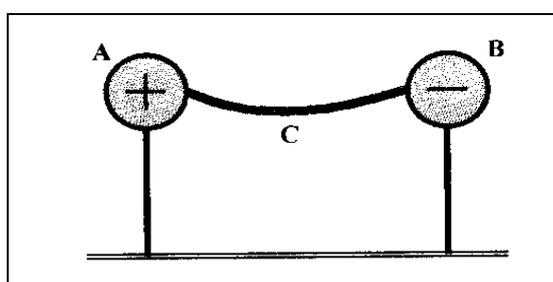


Figura 5.7.- Neutralización de dos cuerpos con cargas opuestas.

Comentarios

La actividad tiene una doble finalidad. Por un lado, se incide en el hecho de que son los electrones los responsables de la corriente eléctrica, y no los protones; y, por otro, se intenta introducir el concepto de conductor.

Con relación a la cuestión (a), y con la información ofrecida en la actividad 3, los alumnos han de concluir que son los electrones los que circularán desde B hasta A; y que esa corriente cesará cuando ambos cuerpos consigan neutralizarse. Respecto a la cuestión (b), se espera que los alumnos lleguen al concepto de conductor, indicando que el material C ha de tener la propiedad de facilitar la circulación de cargas desde B hasta A. El concepto de conductor se suele introducir en los cursos precedentes – primer ciclo de la ESO–; por tanto, los alumnos no encuentran dificultades a la hora de asignar el nombre de 'conductor' al material C (Figura 5.7).

Asimismo, la actividad presenta una excelente oportunidad para repasar el concepto de diferencia de potencial. Como ya dijimos en el capítulo 2, somos partidarios de que la diferencia de potencial sea definida en términos de la variación de energía que experimenta la unidad de carga al desplazarse entre los dos puntos considerados. Sin embargo, aprovechando el contexto en que nos encontramos, podemos definirla –en una primera aproximación– como la causa que origina el movimiento de electrones entre dos cuerpos con cargas opuestas, con el propósito de alcanzar la neutralidad eléctrica. De este modo, podemos decir que el cuerpo A (cargado positivamente) tiene un potencial positivo, mientras que el cuerpo B (cargado negativamente) tiene un potencial negativo; con lo cual, al

unirlos mediante un conductor, fluirán cargas desde el cuerpo B hasta el A, a fin de lograr en ambos la neutralidad. Con esto se habrá originado una corriente eléctrica, durante un tiempo breve, entre ambos cuerpos; corriente que cesa en el momento en que ambos cuerpos alcanzan la neutralidad, si inicialmente tenían cargas equivalentes. Un razonamiento similar se puede hacer cuando los dos cuerpos tengan la carga del mismo signo, pero con distinta magnitud. En este contexto, se puede hacer alusión a una pila como un dispositivo capaz de mantener constantemente –hasta que se consuma– una diferencia de carga (diferencia de potencial) entre dos puntos, con el fin de que circulen cargas entre esos puntos.

A.9 Cuando se desplazan los electrones, no lo hacen con la misma facilidad a través de los distintos materiales, ya que cada uno tiene una estructura atómica diferente. En la actividad anterior, el material C, que une los cuerpos cargados A y B (Figura 5.7), permite la circulación de electrones del cuerpo B al A, hasta que se alcanza en ambos el estado neutro. Estos materiales, que permiten el movimiento de electrones en su interior, se denominan **conductores**. Por el contrario, los materiales que no permiten el paso de los electrones, se denominan **aislantes**.

Fíjate en los materiales de tu alrededor y clasifícalos en conductores y aislantes.

Comentarios

Con objeto de que los alumnos revisen sus respuestas en la actividad anterior, en ésta se ofrecen las conclusiones a las que han debido llegar; asimismo se les introduce el concepto de aislante. Como ejercicio de investigación, se les pide que observen su entorno cotidiano y clasifiquen los materiales en conductores y aislantes. Para ello, han de considerar la función que desempeñan y averiguar el tipo de material del que están fabricados.

Conviene indicar que los alumnos suelen asumir la idea de que un conductor eléctrico es un material ‘hueco’, al igual que una manguera que conduce agua por su interior. Lo cual es motivado por el abuso que muchos profesores hacen del modelo hidráulico en analogía con los circuitos eléctricos. Por tanto, se ha de insistir en este aspecto, aclarando a los alumnos que un conductor no es hueco, ya que los electrones se mueven entre los átomos que lo componen (se incide sobre ello en la siguiente actividad).

A.10 Ya habrás averiguado, a través de la actividad 6, que los materiales metálicos son buenos conductores de la electricidad. Ello se debe a que la inestabilidad de sus átomos, que tienen pocos electrones de valencia, les lleva a desprenderse de estos. Ello explica su gran movilidad dentro del material (Figura 5.8a). En cambio, los átomos de los materiales no metálicos, en la búsqueda de su estabilidad electrónica (tienden a ganar los electrones que les faltan en su capa de valencia), se unen mediante enlaces donde dichos electrones están muy ligados a sus átomos. De esta manera, los electrones tienen escasa movilidad (Figura 5.8b), y, por tanto, hace que los materiales no metálicos sean malos conductores (aislantes) de la electricidad.

A continuación, haz la siguiente experiencia: Coge un bolígrafo de plástico, frótalo en tu abrigo, u otro artículo adecuado, y acércalo a unos trocitos de papel. Después, haz lo mismo con un bolígrafo metálico (o cualquier varilla que sea metálica).

- (a) ¿Se atraen los papelillos en ambos casos? ¿Cuál es la razón?
 (b) ¿Cómo puedes conseguir que el bolígrafo metálico atraiga los papelillos?

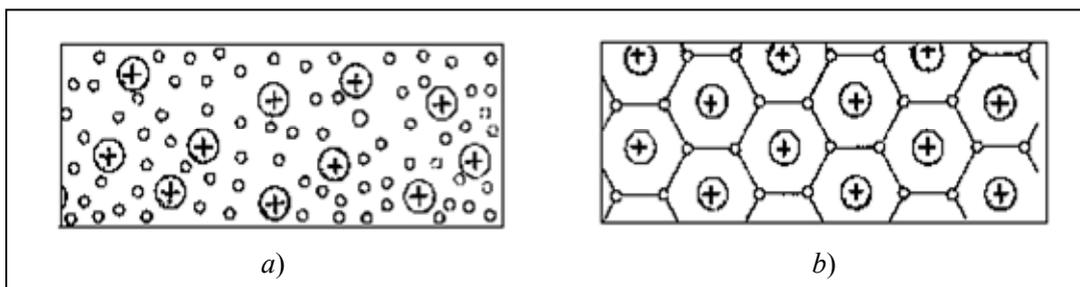


Figura 5.8 a) En el conductor, los electrones se mueven por toda la estructura; b) en el aislante, los electrones están fuertemente ligados a sus átomos que están unidos mediante enlace químico.

Comentarios

La actividad justifica el carácter conductor de los materiales metálicos, y aislante de los no metálicos. Con el fin de que tengan un esquema sencillo de las estructuras internas de los conductores y aislantes, se muestra la figura 5.8. En ésta, se presenta el material conductor con los electrones moviéndose libremente; mientras que en el material aislante, los electrones se han colocado en una especie de retículas, con el propósito de que los alumnos perciban que permanecen 'atrapados' y sin movilidad. Como ejercicio, se propone una sencilla experiencia con la que determinaremos el grado de comprensión de los alumnos. Los alumnos han de concluir que en el caso del bolígrafo metálico (conductor), cualquier exceso de carga que aparezca por el frotamiento, es transmitido –conducido– por todo el material, hasta llegar a nuestra mano y repartirse por todo nuestro cuerpo, alcanzando la neutralidad. En el caso del bolígrafo de plástico, al ser un aislante, las cargas (electrones) que adquiere del abrigo, u otro artículo, están "inmóviles"; por lo que el bolígrafo queda cargado, y al acercarlo a los papelillos induce en ellos una carga que origina la atracción eléctrica entre ambos. Y, por último, para obtener el mismo resultado con ambos bolígrafos, se ha de coger el bolígrafo metálico con algún material aislante como, por ejemplo, goma, que les sirva de mango. En este caso, al ser el mango un aislante, el exceso de carga del bolígrafo metálico no se transmite por nuestra mano; con lo cual, queda cargado eléctricamente y atrae los papelillos.

A.11 Sabemos que las cargas del mismo signo se repelen. Esto significa que si electrizamos un cuerpo, por ejemplo, negativamente, los electrones tratarán de ubicarse en el material lo más lejos posible unos de otros, con el fin de disminuir esa repulsión. En el caso de los aislantes, las cargas se distribuyen homogéneamente por todo el material, ya que éstas no pueden moverse por su interior, a pesar de la repulsión (ver figura 5.8). En cambio, en un conductor las cargas sí pueden moverse. Indica cómo se colocarán las cargas en un conductor para que la repulsión de éstas sea mínima (elige la respuesta correcta):
 Se colocarán sobre la superficie del conductor, que es lo más alejado que pueden estar unas de otras, dejando su interior libre de influencia eléctrica (Figura 5.9a).

(a) Se colocarán justo en el centro del conductor porque, en el momento que quieran, pueden alejarse unas de otras (Figura 5.9b).

(b) Se colocarán a lo largo de una línea, una detrás de otra, ya que la primera y la última carga de la fila están muy alejadas (Figura 5.9c).

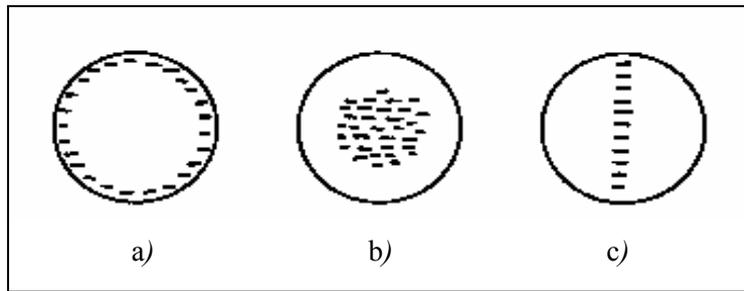


Figura 5.9.- Distribución de la carga en un conductor electrizado: a) en la superficie; b) en el centro; y c) a lo largo de una línea recta.

Comentarios

Los alumnos han de concluir que, dada la gran movilidad de las cargas en los conductores, éstas se distribuyen sobre su superficie con el propósito de atenuar los efectos de repulsión existentes entre ellas (opción (a)); lo cual explica que la conducción eléctrica sólo se manifieste en la superficie de los conductores, y, por ejemplo, estemos seguros en el interior de un coche un día de tormenta. Son escasos los textos de la ESO que hacen alusión a la distribución superficial de la carga en los conductores; sin embargo, es uno de los aspectos esenciales en el estudio de la conducción de la electricidad en la materia.

A.12 Los cuerpos aislantes tienen tanta importancia como los conductores, en la industria de materiales eléctricos, porque, con ellos, se aíslan eléctricamente unos cuerpos de otros, que no deben estar en contacto eléctrico. Consigue un trozo de cable eléctrico y analiza de qué partes consta (Figura 5.10). ¿De qué material es el aislante? ¿Y el conductor?

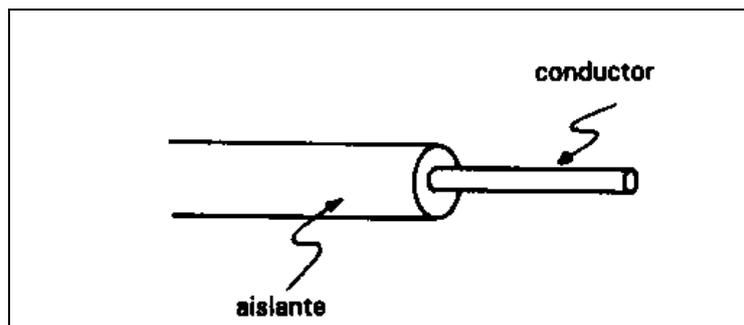


Figura 5.10.- Cable eléctrico formado por un conductor que está envuelto con un material aislante.

Comentarios

Llegado a este punto, los alumnos pueden pensar que sólo son interesantes los materiales conductores en la conducción eléctrica, y que los aislantes no tienen ningún interés en el mundo de la Electricidad. Por ello, hacemos alusión a la importancia de los materiales aislantes en los circuitos

eléctricos, ya que todos los conductores van recubiertos de un aislante, con el fin de evitar contactos no deseados. Por ello, se pide a los alumnos que analicen las partes de cualquier cable eléctrico, y constaten que, efectivamente, se componen tal y como indica la figura 7.10. Asimismo, han de identificar de qué materiales están hechos el conductor y el aislante. Habitualmente, el conductor es de cobre y el aislante de plástico, los cuales son reconocidos con facilidad por los alumnos.

A.13 *Elabora un mapa conceptual con los principales conceptos estudiados en el módulo.*

Comentarios

La elaboración de un mapa conceptual obliga a los alumnos a llevar a cabo una revisión de los conceptos estudiados sobre la Estructura atómica y Naturaleza eléctrica de la materia. Éste les ha de servir para hacer una síntesis del tema, a base de establecer una jerarquización de los conceptos por orden de importancia, a través de una interconexión coherente de los mismos. En muchas ocasiones, los alumnos sobrecargan de palabras –hasta llegan a incluir frases– los diagramas conceptuales. Se ha de insistir en que la calidad de un mapa conceptual no estriba en su extensión, sino en el impacto visual que provoca en el lector; de forma que una ligera visualización ofrezca una panorámica general del tema, y la estructuración en que se desarrollan los conceptos. Una vez que los alumnos han elaborado su mapa conceptual, se hará una puesta en común, con objeto de escoger aquél que mejor ilustre la organización del tema. Al final, el profesor mostrará un mapa conceptual, con el fin de que los alumnos corrijan y/o completen el que han escogido por consenso en la puesta en común. Por ejemplo, el que se muestra al principio del módulo (figura 5.4).

4.3 Módulo III: “Definición y propiedades físicas de los semiconductores”

En este módulo, se introduce el *concepto de semiconductor y sus diferencias respecto de los conductores y aislantes*. El propósito es que los alumnos y alumnas comprendan la influencia de algunos parámetros, como la temperatura, en la conducción eléctrica en el interior de los semiconductores.

♦ Objetivos

Con el estudio del módulo, se espera que los alumnos y alumnas desarrollen las capacidades siguientes:

1. Conozcan el concepto de semiconductor de electricidad, así como sus diferencias respecto a los conductores y aislantes.
2. Comprendan el comportamiento físico de los semiconductores y la influencia de algunos parámetros, como la temperatura, en la conducción eléctrica por su interior.

♦ *Contenidos*

Con el fin de alcanzar los objetivos didácticos enunciados, se proponen los contenidos que se especifican en el siguiente cuadro:

Conceptos	Procedimientos	Actitudes
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Semiconductores. Definición y comportamiento físico. ➤ Conducción eléctrica en semiconductores. Resistividad de los materiales semiconductores. Variación con la temperatura. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Realización de experiencias sencillas que permitan distinguir entre conductores, aislantes y semiconductores. ➤ Descripción de la influencia de la temperatura en la conducción eléctrica de los semiconductores. ➤ Análisis e interpretación de resultados experimentales que ponen de manifiesto algunas propiedades de los semiconductores. ➤ Búsqueda de información (prensa, bibliotecas, Internet,...) sobre aspectos relacionados con los semiconductores. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Reconocimiento y valoración de la importancia del trabajo en equipo en la planificación y realización de las actividades. ➤ Fomento de actitudes positivas y de interés por el estudio de la Física de Semiconductores. ➤ Adquisición de ideas científicas correctas sobre algunas propiedades físicas de los semiconductores.

Con objeto de ofrecer una visión global y coherente de los conceptos que se desarrollan en el módulo, presentamos el *mapa conceptual* de la figura 5.11.

♦ *Criterios e indicadores de evaluación*

Los criterios e indicadores de evaluación que proponemos para valorar el grado de consecución de los objetivos, son los que siguen.

En relación con la adquisición de conceptos
<ol style="list-style-type: none"> 1) Conoce el concepto de semiconductor de electricidad, y sus diferencias con los conductores y aislantes. 2) Comprende el comportamiento físico de los semiconductores con la temperatura.
En relación con el planteamiento y la resolución de problemas
<ol style="list-style-type: none"> 3) Formula hipótesis y lleva a la práctica una estrategia concreta de resolución, y comprueba, con actitud crítica, las soluciones posibles que plantea un problema. 4) Manifiesta actitudes de curiosidad e interés por indagar cuestiones relacionadas con los semiconductores.
En relación con la expresión y la comprensión
<ol style="list-style-type: none"> 5) Analiza críticamente la información recogida en diversas fuentes, diferenciando lo relevante de lo accesorio y los datos de las opiniones, relacionada con los semiconductores.

- 6) Comunica con claridad y precisión las conclusiones de una investigación.
- En relación con la participación y el trabajo en equipo**
- 7) Se implica en la realización de las tareas de clase.
 8) Participa en las actividades organizadas en grupo, asumiendo su parte de responsabilidad, mostrándose respetuoso con las opiniones de los demás y defendiendo las propias con argumentos basados en sus conocimientos científicos.

♦ *Temporización*

El tiempo previsto para el desarrollo del módulo es de 3 sesiones de 1 hora cada una.

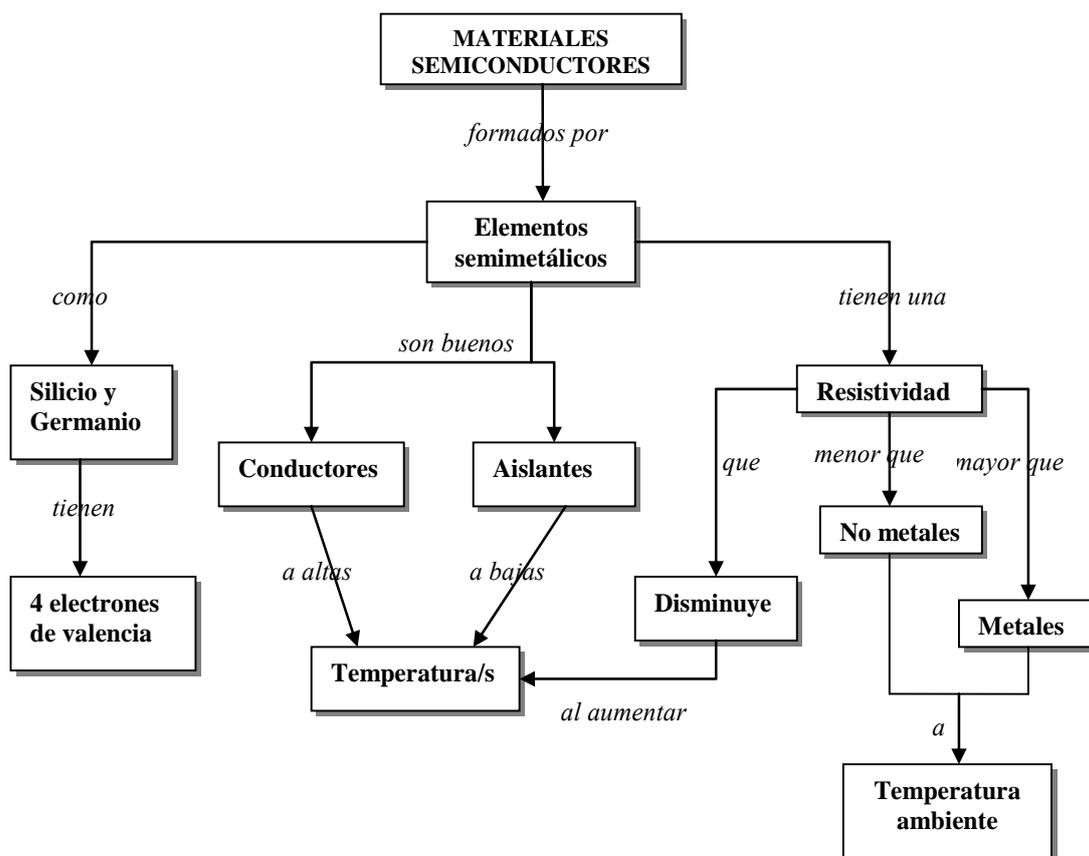


Figura 5.11.- Mapa conceptual: Definición y propiedades físicas de los semiconductores.

♦ *Actividades de enseñanza/aprendizaje*

A continuación, presentamos la propuesta de actividades destinadas al estudio del módulo. Cada actividad va acompañada de unos *comentarios*, cuyo propósito es servir de orientación o guía para su adecuado desarrollo en el aula.

A.1 Averigua la configuración electrónica del silicio (Si) y del germanio (Ge). ¿Cuántos electrones de valencia tienen? ¿Qué comportamiento tendrán, metálico o no metálico? Razona tu respuesta.

Comentarios

Una vez estudiados la estructura y el comportamiento de los conductores y aislantes, en el módulo I, los alumnos están en disposición de abordar el estudio de los semiconductores. Comenzamos a construir el concepto de semiconductor a partir de la configuración electrónica del silicio y del germanio (elementos semiconductores por excelencia). Los alumnos han de obtener que ambos tienen 4 electrones de valencia. El resultado produce una discusión interesante entre los alumnos, con afirmaciones como “puesto que les da igual ganar que perder los electrones de valencia, unas veces serán metales y otras no metales”; o “como no pueden ganar ni perder los electrones de valencia, no serán metales ni no metales”. En cualquier caso, todas las ideas apuntan al propósito de la actividad: que los alumnos asuman que esos elementos tienen un comportamiento intermedio entre los metales y no metales.

*A.2 Como habrás observado con la actividad anterior, tanto el Si como el Ge tienen 4 electrones de valencia. Lo cual indica que les es igual de fácil o difícil ganar que perder 4 electrones hasta alcanzar los 8 electrones de valencia para lograr la estabilidad. A estos elementos se les denomina **semimetales**, ya que tienen un comportamiento intermedio entre los metales y los no metales. ¿Serán conductores o aislantes? Busca información acerca de las propiedades de esos elementos, y compáralas con las que has obtenido en la actividad 7, del módulo I, acerca de los metales y no metales.*

Comentarios

Con el fin de complementar la actividad anterior, y con objeto de aunar las ideas de los alumnos, se introduce el concepto de semimetal como aquel que presenta un comportamiento intermedio entre los metales y no metales. La información buscada ha de permitir a los alumnos concluir que el comportamiento eléctrico de los semimetales es intermedio al de los conductores y los aislantes. En todo caso, en la búsqueda de información encontrarán esta propiedad, así como el término de semiconductor, con el que se designa a los materiales semimetálicos.

*A.3 Una de las propiedades de los semimetales es la de ser mejores conductores de la electricidad que los no metales y peores conductores que los metales. Por ello, se dice que son **semiconductores** de la electricidad; es decir, que tienen un comportamiento intermedio entre los conductores y los aislantes. Con el fin de hacer una clasificación de los materiales según su conducción eléctrica, podemos realizar una experiencia con un sencillo montaje. Con una pila, unos cables y una bombilla se monta el esquema de la figura 5.12. Entre los puntos A y B del circuito se conectan tres placas de materiales distintos, objeto de nuestro estudio. Cuando se ejecuta la experiencia, se observa lo siguiente:*

- 1. Al colocar entre A y B el material TIPO 1, no se ve ningún cambio en el estado de la bombilla; es decir, no se enciende.*
- 2. Al colocar entre A y B el material TIPO 2, la bombilla se enciende.*
- 3. Al colocar entre A y B el material TIPO 3, se observa que la bombilla se calienta pero no se enciende (algo parecido sucede cuando se conecta una bombilla de un determinado voltaje a un voltaje inferior).*

Indica de qué material (conductor, aislante o semiconductor) es cada una de las placas utilizadas en la experiencia. Razona tu respuesta.

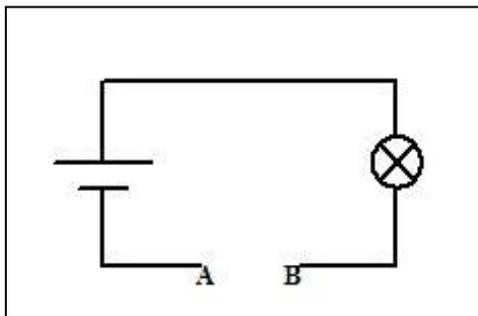


Figura 5.12.- Esquema para observar la conducción eléctrica en distintos materiales.

Comentarios

Con objeto de que los alumnos comprueben sus respuestas en la actividad anterior, comenzamos con una introducción explícita del concepto de semiconductor. Conviene indicar que la definición ofrecida es limitada, ya que, a altas temperaturas, los semiconductores conducen mejor la electricidad que los propios conductores; mientras que a temperaturas muy bajas, son aislantes perfectos. Por tanto, se ha de tener presente que la definición mostrada hace referencia al comportamiento de un semiconductor a temperatura ambiente. No obstante, todos estos aspectos se tratan en lo que sigue del módulo.

Como aplicación, se muestran los resultados de una experiencia¹⁵, con el propósito de que los alumnos diferencien entre un conductor, un aislante y un semiconductor, según su comportamiento en la conducción eléctrica. Respecto al material TIPO 1, se trata de un aislante, ya que no permite el paso de la corriente para encender la bombilla. El material TIPO 2 es, claramente, un conductor, pues permite el paso de la corriente y, por tanto, encender la bombilla. Por último, el material TIPO 3 es el semiconductor, porque, aun cuando la bombilla no se enciende, se observa un calentamiento del filamento; lo cual indica que existe un movimiento de cargas en el interior del material, si bien la intensidad de esa corriente no es suficiente para hacer brillar la bombilla.

A.4 Todos los materiales presentan más o menos oposición al paso de la corriente eléctrica. Lo cual se debe a que el movimiento de los electrones se ve dificultado por el choque de estos con los iones positivos que están en posiciones fijas del material. Esa dificultad, que presentan los materiales al movimiento de los electrones, se denomina **resistencia eléctrica**, cuya unidad de medida es el ohmio (Ω).

Atendiendo a lo que has estudiado hasta ahora, indica cómo será la resistencia (grande, pequeña o intermedia) de un conductor, un aislante y un semiconductor. Ordénalas de forma creciente.

Comentarios

El fin de la actividad es introducir la resistencia eléctrica, como magnitud fundamental, en el estudio de la conducción eléctrica a través de la materia. Su valor indica cuál es la oposición que ofrecen los materiales al paso de

¹⁵El profesor o profesora puede ejecutarla con su alumnado en el laboratorio y comprobar los resultados aquí expuestos.

corriente a su través; lo cual permite hacer una clasificación de los mismos. Los alumnos han de comprender que un material será tanto mejor conductor de la electricidad cuanto menor sea su resistencia eléctrica. Por tanto, un semiconductor presenta una resistencia eléctrica mayor que la de un conductor y menor que la de un aislante –a temperatura ambiente, se entiende–.

A.5 En los materiales, la resistencia eléctrica es directamente proporcional a su longitud (L) (a mayor longitud, mayor resistencia) e inversamente proporcional a su sección (S) (a mayor grosor, menor resistencia). Asimismo, la resistencia depende de la naturaleza del material; de manera que no todos los materiales ofrecen la misma oposición al paso de la corriente. Es una propiedad característica de cada material, que refleja la influencia de su naturaleza al paso de la corriente, que se denomina **resistividad** (ρ), y su unidad es ohmio-metro ($\Omega\cdot m$). Con todo, la resistencia viene dada por la siguiente expresión:

$$R = \rho \frac{L}{S}$$

Sabiendo que la resistividad del cobre es $1,7 \cdot 10^{-8} \Omega\cdot m$ y la del silicio $0,47 \Omega\cdot m$, calcula la resistencia de cada sustancia si las dimensiones de ambas son: $L = 0,2 \text{ m}$ y $S = 10^{-5} \text{ m}^2$. Compara ambos resultados y coméntalos.

Comentarios

Se introducen los factores de los que depende el valor de la resistencia eléctrica de los materiales (longitud, sección y resistividad), así como la relación entre ellos. Respecto a la resistividad, optamos por dar una definición en términos de una característica propia de cada material, independiente de sus dimensiones, que da idea de la oposición intrínseca de los materiales al paso de corriente. Intentamos así evitar que los alumnos conciban este concepto como sinónimo de resistencia; una confusión a la que se puede contribuir si se define como la resistencia eléctrica que presenta un material de 1 m de longitud y 1 m² de sección (opción que aún utilizan algunos libros de texto).

Con relación a la cuestión propuesta en la actividad, su finalidad es que los alumnos comprueben numéricamente que, en efecto, la resistencia de un conductor es menor que la de un semiconductor; lo cual les ha de servir para confirmar la respuesta que han debido dar en la actividad anterior.

Conviene indicar que la magnitud que habitualmente se utiliza para hacer una clasificación de los materiales, según su comportamiento en la conducción eléctrica, es la conductividad (σ), cuya unidad es $(\Omega\cdot m)^{-1}$. No obstante, en nuestra propuesta optamos por utilizar la resistividad (ρ), que es la magnitud inversa a la anterior, y la que se introduce en el estudio de la Electricidad en la ESO. En cualquier caso, es lo mismo hablar de que un conductor tiene una conductividad alta, que decir que su resistividad es baja. Por tanto, la resistividad sirve exactamente igual a la hora de hacer una clasificación de los materiales. En la tabla 5.3 se muestra una clasificación cuantitativa de los materiales en función de su resistividad.

$< 10^8 (\Omega \cdot m)$	AISLANTES	Cuarzo, plásticos
$10^8 (\Omega \cdot m)$	SEMICONDUCTORES	Silicio, germanio
$10^{-8}-10^{-6} (\Omega \cdot m)$	CONDUCTORES	Plata, cobre

Tabla 5.3.- Clasificación de algunos materiales en función de su resistividad.

A.6 Ya has debido concluir que un material es mejor conductor de la electricidad cuanto menor es su resistencia eléctrica. Atendiendo a la expresión de la resistencia, dada en la actividad anterior, lee el siguiente párrafo y elige la palabra correcta en cada caso.

“Al aumentar la longitud de un material, su resistencia (aumenta/disminuye); y si se disminuye su sección, la resistencia (aumenta/disminuye). Si se aumenta en la misma proporción los valores iniciales de la longitud y la sección, la resistencia del material tendrá un valor (mayor/menor/igual) al de un principio. Un material es mejor conductor de la electricidad cuanto (mayor/menor) es su resistividad.”

Comentarios

La actividad tiene por objeto que los alumnos organicen sus ideas respecto a la resistencia eléctrica, así como de su relación con los factores de los que depende. Con el propósito de orientarles, se les muestra las posibles palabras con las que han de completar el párrafo. La lectura del párrafo ha de ser la siguiente:

“Al aumentar la longitud de un material, su resistencia aumenta; y si se disminuye su sección, la resistencia también aumenta. Si se aumenta en la misma proporción los valores iniciales de la longitud y la sección, la resistencia del material tendrá un valor igual al de un principio. Un material es mejor conductor de la electricidad cuanto menor es su resistividad.”

Al finalizar la actividad, conviene aclarar a los alumnos que no siempre es posible manipular a nuestro antojo las dimensiones de los dispositivos para modificar su resistencia. Basta pensar en los minúsculos circuitos integrados de los dispositivos electrónicos actuales, donde las razones técnicas y de diseño ponen límites a este propósito.

A.7 Ya se ha indicado que la resistividad es una característica propia de cada material; no obstante, su valor depende de la temperatura a la que se encuentre el material. Cuando un conductor aumenta su temperatura, los átomos comienzan a vibrar en sus posiciones fijas y los electrones libres chocan con más frecuencia con esos átomos. Teniendo en cuenta esto, contesta a lo siguiente:

(a) ¿Cómo influirá en la resistividad de los conductores un aumento de la temperatura? ¿Y en su resistencia?

(b) En conclusión, ¿cómo influirá un aumento de temperatura en la conducción eléctrica de los conductores?

Comentarios

Ya hemos indicado que la resistividad es una constante propia de cada material. Sin embargo, su valor depende de la temperatura de trabajo; con lo cual, también lo hará la resistencia eléctrica y, consecuentemente, la conducción eléctrica. Surge así el interés por estudiar la variación de la resistividad con la temperatura, en la conducción eléctrica de los materiales. La actividad ofrece información sobre el comportamiento interno de los

materiales con el aumento de la temperatura. Con ésta, los alumnos han de concluir que la resistividad de un conductor crece a medida que lo hace la temperatura, ya que los átomos aumentan la amplitud de su vibración en torno a sus posiciones de equilibrio; lo que dificulta el movimiento de los electrones libres. De ahí que los conductores disminuyan la conducción eléctrica en su interior cuando aumenta su temperatura. No obstante, conviene matizar que este resultado es sólo para los conductores, pues, como veremos en la siguiente actividad, los semiconductores tienen un comportamiento diferente con la temperatura.

A.8 Con la intención de estudiar la influencia de la temperatura en el valor de la resistividad de dos muestras idénticas, una de un conductor (cobre) y otra de un semiconductor (silicio), se ha diseñado la siguiente experiencia: Se conectan un generador (ε), un amperímetro (A) y un voltímetro (V) al material que queremos estudiar, como se indica en la figura 5.13. Una vez hecho el montaje, se sitúa en el material un medidor de temperatura (T), que permite conocer cómo aumenta la temperatura en el material a medida que se calienta. Los valores de la resistividad se miden de forma indirecta; esto es, de acuerdo con la ley de Ohm ($R = V/I$), la resistencia viene dada como el cociente entre la diferencia de potencial entre los extremos del material (lectura del voltímetro) y el valor de la intensidad (lectura del amperímetro); al sustituir la resistencia por su expresión ($R = \rho L/S$), la resistividad se expresa como:

$$\rho = \frac{V \cdot S}{I \cdot L}$$

Por tanto, con la medida de los valores de V e I para cada valor de temperatura, y conocidas las dimensiones S y L de las muestras, se obtienen los distintos valores de la resistividad.

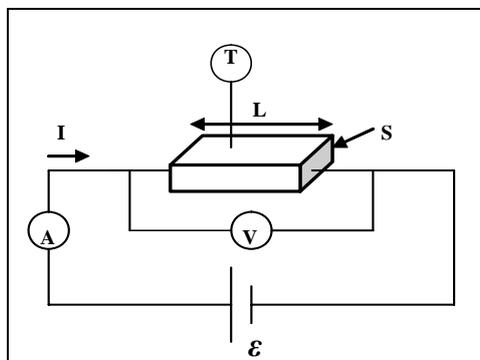


Figura 5.13.- Montaje para la medida de resistencias con amperímetro y voltímetro.

Los resultados de la experiencia se recogieron en dos gráficas (Figura 5.14), una para cada sustancia, en las que se representa la variación de la resistividad con la temperatura de forma cualitativa.

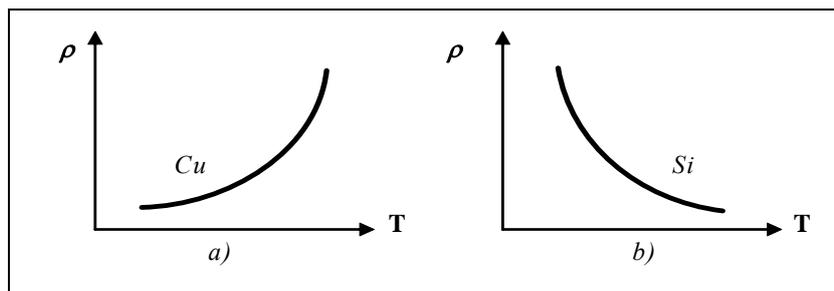


Figura 5.14.- Variación de la resistividad frente a la temperatura: a) muestra de cobre, b) muestra de silicio.

Según los resultados de la experiencia, contesta a lo siguiente:

(a) ¿Cómo varía la resistividad del cobre y del silicio a medida que aumenta la temperatura?

(b) ¿Cuál de las dos sustancias conducirá mejor la electricidad a altas temperaturas? Razona tu respuesta.

(c) ¿Crees que se tendría que haber hecho algún tipo de matización en el enunciado de la cuestión propuesta en la actividad 5, cuando se ofrecen los valores de la resistividad del cobre y del silicio?

(d) ¿Concuerda el resultado obtenido para el cobre (material conductor) con las respuestas que has dado en la actividad anterior?

(e) Atendiendo a la forma en que varía la conducción eléctrica de los semiconductores con la temperatura, plantea una posible aplicación de estos materiales. Si es necesario, busca información.

Comentarios

La finalidad de la actividad es complementar a la anterior, y destacar la importancia de los semiconductores a altas temperaturas. En ésta partimos de que los alumnos conocen la ley de Ohm, ya que se estudia en los contenidos de Electricidad de la ESO.

La experiencia pone de manifiesto que, a medida que aumenta la temperatura, la resistividad del conductor aumenta, mientras que la del semiconductor disminuye; lo cual indica que, a altas temperaturas, los semiconductores conducen mejor la electricidad que los propios conductores (al respecto, sugerimos la lectura del capítulo I de Robles *et al*, 1993). Con esto, los alumnos han de entender que cuando se ofrece como dato el valor de la resistividad de un material, se ha de especificar la temperatura a la que se da ese valor. El resultado obtenido para el conductor es coherente con lo expuesto en la actividad anterior, en relación con el comportamiento de los conductores a altas temperaturas; lo que ha de permitir a los alumnos comprobar sus respuestas.

A raíz del comportamiento de los semiconductores con la temperatura, los alumnos han de proponer, con ayuda de la consulta bibliográfica, su aplicación –al margen de la referente a la Electrónica– como medidores de temperatura y en la construcción de células fotoeléctricas en el ámbito de la Energía Solar.

Por último, comentar que podríamos haber preguntado a los alumnos sobre la causa de la alta conductividad (baja resistividad) en los semiconductores a altas temperaturas; sin embargo, en nuestra opinión, es

preferible que antes comprendan la estructura de los semiconductores intrínsecos y el concepto de Energía de Ionización.

A.9 De acuerdo con los resultados de la experiencia realizada en la actividad anterior, indica cómo influirá en la conducción de un semiconductor, el hecho de que lo iluminemos con una luz potente. Razona tu respuesta.

Comentarios

Aquí, los alumnos han de concluir que el hecho de iluminar un semiconductor implica aumentar su temperatura; con lo cual, disminuye su resistividad, y, por tanto, favorece la conducción eléctrica en su interior. Asimismo, la actividad permite a los alumnos replantearse el apartado (e) de la actividad anterior, y concluir –si aún no lo han hecho– que una aplicación importante de los materiales semiconductores está en la construcción de paneles solares, con el fin de obtener electricidad a partir de la luz del Sol.

A.10 Completa el siguiente texto con las palabras que faltan:

“Los semiconductores son materiales formados por elementos _____, que se caracterizan por tener _____ electrones de valencia. Normalmente, presentan un comportamiento _____ entre los conductores y los aislantes. A temperatura ambiente, la resistividad de un semiconductor es _____ que la de un conductor; sin embargo, a altas temperaturas conduce _____ la electricidad que el propio conductor. Esto se debe a que, a altas temperaturas, la resistividad del semiconductor es _____ que la del conductor.”

Comentarios

El propósito de esta actividad es que los alumnos hagan una síntesis de los aspectos más importantes sobre el comportamiento de los semiconductores. La lectura del texto ha de ser la siguiente:

“Los semiconductores son materiales formados por elementos semimetálicos, que se caracterizan por tener cuatro electrones de valencia. Normalmente, presentan un comportamiento intermedio entre los conductores y los aislantes. A temperatura ambiente, la resistividad de un semiconductor es mayor que la de un conductor; sin embargo, a altas temperaturas conduce mejor la electricidad que el propio conductor. Esto se debe a que, a altas temperaturas, la resistividad del semiconductor es menor que la del conductor.”

4.4 Módulo IV: “Semiconductores intrínsecos. Generación y recombinación de pares electrón-hueco”

En el cuarto módulo, se estudia el *concepto de semiconductor intrínseco a partir del modelo de enlace covalente*. Se trata de que los alumnos entiendan los *conceptos de electrón libre y hueco*, y se formen una idea clara acerca de los *procesos de generación y recombinación de pares electrón-hueco*, a fin de que comprendan el movimiento de electrones y huecos en el interior de los semiconductores.

♦ *Objetivos*

Con el estudio del módulo, se espera que los alumnos y alumnas desarrollen las capacidades siguientes:

1. Adquieran un concepto claro de semiconductor intrínseco, a partir del modelo de enlace covalente.
2. Entiendan los conceptos de electrón libre y hueco, y se formen una idea acerca de los procesos de generación y recombinación de pares electrón-hueco en los semiconductores.
3. Comprendan el movimiento de los electrones y huecos en el interior de los semiconductores.

♦ *Contenidos*

Con el fin de alcanzar los objetivos didácticos enunciados, se proponen los contenidos que siguen.

Conceptos	Procedimientos	Actitudes
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Estructura de los semiconductores. Modelo de enlace covalente. ➤ Electrones libres y huecos. Generación y recombinación de pares electrón-hueco. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Realización de experiencias sencillas que permitan comprender el comportamiento físico de los semiconductores intrínsecos. ➤ Resolución de actividades que requieren la aplicación del método científico. ➤ Representación de semiconductores intrínsecos mediante esquemas bidimensionales. ➤ Búsqueda de información (prensa, bibliotecas, Internet,...) sobre aspectos relacionados con los semiconductores. ➤ Planificación y realización de simulaciones que ayuden a comprender la conducción eléctrica en los semiconductores. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Fomento del trabajo en equipo, asumiendo responsabilidades y aceptando y valorando las opiniones de los demás. ➤ Fomento de la creatividad y curiosidad por la Física de Semiconductores. ➤ Adquisición de ideas científicas correctas sobre la Física de los semiconductores intrínsecos.

Con objeto de ofrecer una visión global y coherente de los conceptos que se desarrollan en el módulo, presentamos el *mapa conceptual* de la figura 5.15.

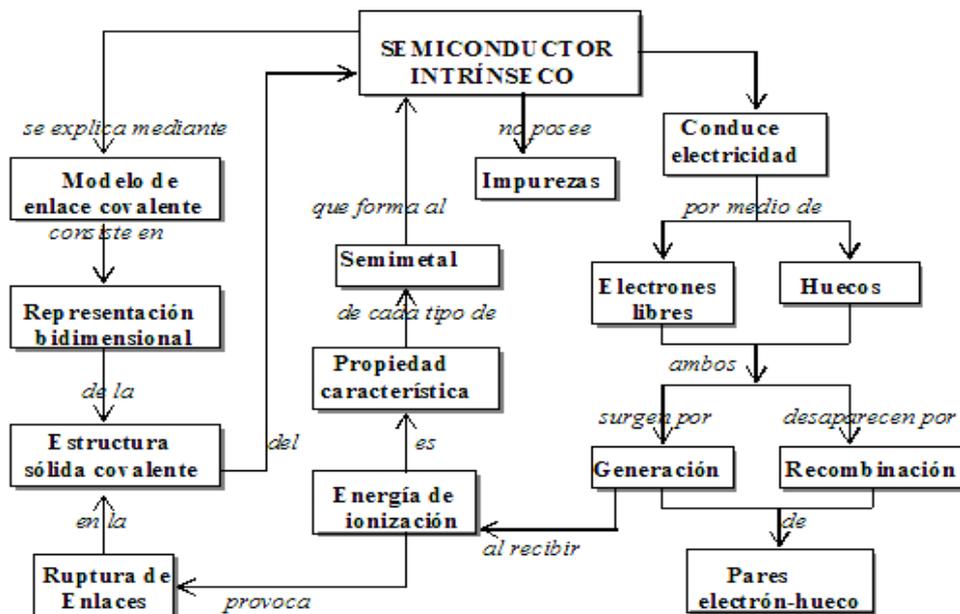


Figura 5.15.- Mapa conceptual: Semiconductores intrínsecos. Generación y recombinación de pares electrón-hueco.

♦ *Criterios e indicadores de evaluación*

Los criterios de evaluación que proponemos para valorar el grado de consecución de los objetivos se detallan en lo que sigue.

En relación con la adquisición de conceptos
1) Conoce y comprende el concepto de semiconductor intrínseco a partir del modelo del enlace covalente.
2) Define y comprende los conceptos de electrón libre y hueco y su papel en la conducción eléctrica en semiconductores.
3) Explica los procesos de generación y recombinación de pares electrón-hueco, que tienen lugar en los semiconductores.
En relación con el planteamiento y la resolución de problemas
4) Formula hipótesis y lleva a la práctica una estrategia concreta de resolución, y comprueba, con actitud crítica, las soluciones posibles que plantea un problema.
5) Manifiesta actitudes de curiosidad e interés por indagar cuestiones relacionadas con la estructura y el comportamiento eléctrico de los semiconductores intrínsecos.
En relación con la expresión y la comprensión
6) Analiza críticamente la información recogida en diversas fuentes, diferenciando lo relevante de lo accesorio y los datos de las opiniones, relacionado con los semiconductores intrínsecos.
7) Comunica con claridad y precisión las conclusiones de una investigación.
En relación con la participación y el trabajo en equipo
8) Se implica en la realización de las tareas de clase.
9) Participa en las actividades organizadas en grupo, asumiendo su parte de responsabilidad, mostrándose respetuoso con las opiniones de los demás y defendiendo las propias con argumentos basados en sus conocimientos científicos.

◆ *Temporización*

El tiempo previsto para el desarrollo del módulo es de 3 sesiones de 1 hora cada una.

◆ *Actividades de enseñanza/aprendizaje*

A continuación, presentamos la propuesta de actividades dirigidas al estudio del módulo. Cada actividad va acompañada de unos *comentarios*, cuyo propósito es servir de orientación o guía para su adecuado desarrollo en el aula.

A.1 *Ya sabemos que los átomos tienden a unirse con otros, mediante enlaces químicos, con el fin de alcanzar la estabilidad electrónica que por sí solos no tienen. En el caso de los materiales semiconductores, los átomos se unen entre sí mediante enlace covalente, con lo que dan lugar a unas estructuras denominadas sólidos covalentes atómicos. Busca información sobre las características y propiedades del enlace covalente.*

Comentarios

Como ya se expuso en el capítulo 2, para abordar el estudio de la estructura y el comportamiento de los semiconductores, utilizamos el modelo bidimensional del enlace covalente. Éste permite a los alumnos visualizar con sencillez la formación de los enlaces covalentes y las rupturas de los mismos, que dan lugar a los electrones libres y huecos generados. La finalidad de la actividad es que los alumnos repasen, a través de la búsqueda de información, lo que ya han estudiado sobre el enlace covalente, y más concretamente sobre los sólidos covalentes atómicos.

A.2 *En los sólidos covalentes atómicos, los átomos comparten sus electrones de valencia con otros átomos vecinos, con el fin de lograr los 8 electrones precisos para su estabilidad. Cada átomo de la estructura comparte un par de electrones con los átomos vecinos, uno del propio átomo y otro del átomo vecino. Sabiendo el número de electrones de valencia que tienen los semimetales, indica cuántos átomos rodearán a cada uno de los átomos que componen un semiconductor de silicio o de germanio.*

Comentarios

Conectada con la actividad anterior, en ésta nos centramos en la característica esencial del enlace covalente: la compartición de electrones entre los átomos de la estructura para lograr la estabilidad electrónica. Los alumnos han de concluir que en los semiconductores de silicio y de germanio –átomos tetravalentes–, cada átomo está rodeado de 4 átomos vecinos, compartiendo un par de electrones con cada uno, a fin de cumplir la regla del octeto. Esto nos va permitir introducir en la siguiente actividad una representación esquemática bidimensional de la estructura del silicio y el germanio.

A.3 *La estructura atómica de los semiconductores se puede representar mediante el esquema de la figura 5.16, donde las circunferencias representan los núcleos de cada átomo y los dos puntos entre las barras representan los electrones compartidos por los dos átomos correspondientes. Según esa estructura, ¿son*

estables los átomos?. ¿Es coherente la estructura representada con la respuesta que has dado en la actividad anterior?

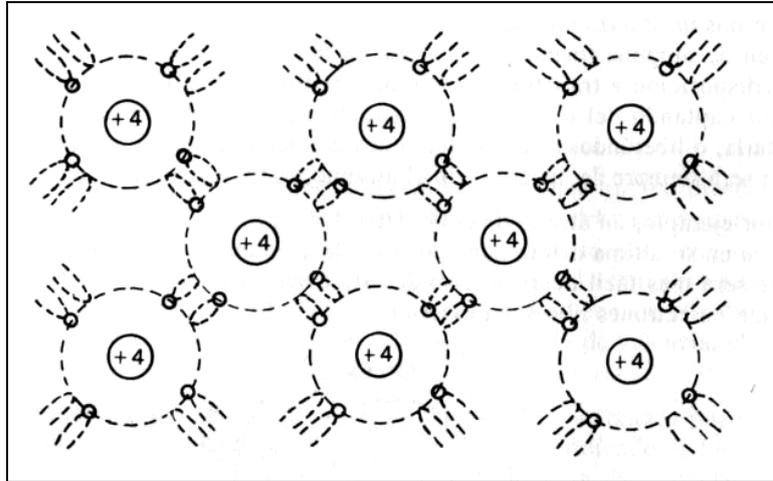


Figura 5.16.- Representación bidimensional de la estructura atómica del silicio y el germanio.

Comentarios

La actividad complementa a la anterior, al mostrar el esquema bidimensional de la estructura atómica del silicio y el germanio (figura 5.16). Los alumnos comprobarán la validez de ésta, al observar que cada átomo de la estructura posee 8 electrones de valencia, como consecuencia de la compartición de 4 pares de electrones con los átomos vecinos.

Conviene indicar que existen varias representaciones esquemáticas del enlace covalente. Al respecto, en Rosado (1995) se muestra un estudio didáctico sobre las representaciones bidimensionales del enlace covalente usadas habitualmente en la enseñanza de la Física de Semiconductores.

A.4 Cuando un semiconductor es puro, sin que existan elementos extraños, se denomina semiconductor intrínseco. Así, por ejemplo, un semiconductor de silicio no contiene en su estructura ningún elemento que no sea silicio. La estructura representada en la actividad anterior corresponde a un semiconductor intrínseco a temperaturas muy bajas; de ahí que todos los electrones de valencia se encuentren ligados a sus respectivos átomos. En este estado, ¿qué comportamiento tendrá el semiconductor, conductor o aislante de la electricidad?. Razona tu respuesta.

Comentarios

La actividad introduce el concepto de Semiconductor intrínseco. Es preciso aclarar que cuando hablamos de temperaturas muy bajas, nos referimos a temperaturas en torno al cero absoluto. Puesto que al nivel de enseñanza de la ESO los alumnos aún no están familiarizados con la escala absoluta de temperaturas, es suficiente con decir, de forma cualitativa, que son temperaturas muy por debajo de 0°C. Respecto a la cuestión planteada, con la información ofrecida, los alumnos han de responder que los semiconductores, a muy bajas temperaturas, son aislantes de la

electricidad. Para ello, pueden basarse en la Teoría Cinética¹⁶, con el argumento de que a bajas temperaturas el movimiento de vibración de los átomos del semiconductor es pequeño y, por tanto, no coadyuva a la ruptura de los enlaces que permitan la liberación de electrones.

A.5 *A medida que aumenta la temperatura en un semiconductor intrínseco, los electrones ligados a sus correspondientes átomos pueden adquirir la suficiente energía de vibración, como para que rompan el enlace y se conviertan en electrones libres dentro del semiconductor. La energía necesaria para romper un enlace, en el que se libera un electrón, se denomina energía de ionización.*

¿Podrías explicar ahora el resultado de la experiencia de la actividad 8 del módulo II, para el cobre (conductor) y el silicio (semiconductor)? Escribe un comentario.

Comentarios

Con el concepto de Energía de Ionización, junto con la Teoría Cinética, los alumnos han de ser capaces de explicar por qué un semiconductor es buen conductor a altas temperaturas y, sin embargo, un conductor no (resultado obtenido en la actividad 8 del módulo II). Con base en la Teoría Cinética, al aumentar la temperatura en un semiconductor, los electrones ligados a los átomos adquieren la energía cinética suficiente para romper el enlace y pasar a ser electrones libres; y a medida que aumenta la temperatura, mayor número de electrones libres habrá dispuestos a formar parte de una corriente eléctrica. Sin embargo, en un conductor existe un gran número de electrones libres a temperatura ambiente; y como sus átomos requieren una energía de ionización menor, a altas temperaturas, el número de electrones libres y el estado de vibración de los átomos de la estructura son tales que se produce un colapso, que dificulta el tránsito de las cargas en su interior.

A.6 *A temperatura ambiente (unos 27°C), se encuentra un electrón libre por cada 10^9 átomos de germanio, y, en el silicio, uno por cada 10^{12} átomos. Aún cuando existen algunos electrones libres, el número no es lo suficientemente grande como para conseguir que se establezca una corriente eléctrica importante en el material; por tanto, no son buenos conductores, ni buenos aislantes.*

(a) Determina cuál de ellos será mejor conductor a temperatura ambiente.

(b) Sabiendo que la energía de ionización del silicio y del germanio, a temperatura ambiente, es de $1.76 \cdot 10^{-19}$ J y $1.12 \cdot 10^{-19}$ J, respectivamente, indica cuál será mejor conductor a medida que aumente su temperatura.

Comentarios

Hasta ahora nos hemos referido al silicio y al germanio sin distinción alguna. El propósito de esta actividad es que los alumnos entiendan que, al igual que ocurre en los conductores y en los aislantes, también existen diferencias entre los semiconductores. Con la información ofrecida, han de concluir que, a temperatura ambiente, el germanio es mejor conductor que el silicio, al poseer mayor número de electrones libres; y como la energía de ionización del germanio es menor que la del silicio –cuesta menos arrancarle un electrón–, ante un mismo aumento de temperatura en ambos, seguirá siendo mejor conductor el germanio.

¹⁶Establece que la energía cinética de las partículas que componen un sólido, un líquido o un gas, es directamente proporcional a la temperatura a la que se encuentren.

Hay que aclarar que la Energía de Ionización suele expresarse en unidades de electrón-voltio (eV); pero esta unidad de energía no se suele utilizar en la ESO, de ahí que hayamos expresado los valores de energía en julios (J).

A.7 Cuando un electrón abandona el enlace, al recibir la energía de ionización necesaria, se produce una vacante en el enlace, ya que en cada uno de los enlaces caben dos electrones. A esa vacante de un electrón se denomina hueco. Al proceso en el que se libera un electrón del enlace y, por tanto, aparece un hueco, se denomina generación de un par electrón-hueco (figura 5.17). Atendiendo a esto, indica cómo influye la temperatura en la generación de huecos en un semiconductor.

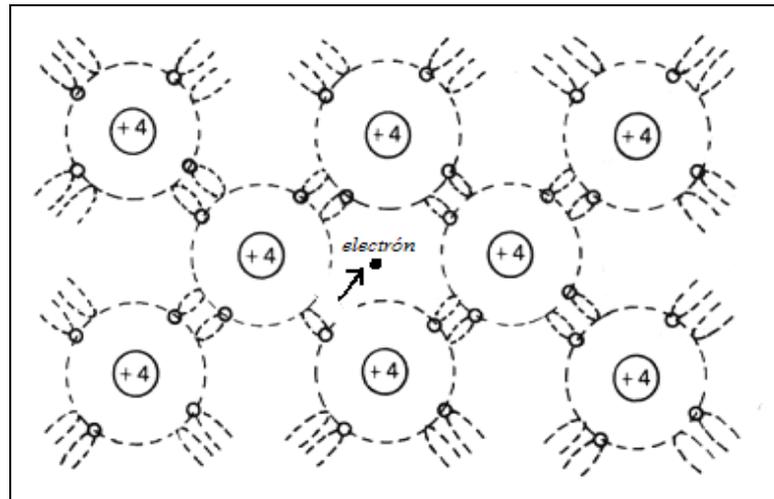


Figura 5.17 Generación de un par electrón-hueco.

Comentarios

Una vez que los alumnos han trabajado las actividades 5 y 6, se está en disposición de introducir el concepto de hueco. Conviene insistir a los alumnos que la generación de un hueco es un proceso inherente a la generación de un electrón libre (no es posible generar un electrón libre sin el correspondiente hueco); de ahí que el proceso se denomine 'generación de un par electrón-hueco' y que, por tanto, exista el mismo número de electrones libres y de huecos en un semiconductor intrínseco. Con esto, los alumnos han de concluir que un aumento de temperatura en un semiconductor, que favorece la liberación de electrones de valencia, también favorece la generación de huecos.

En la actividad nos hemos limitado a ofrecer la definición de hueco como la ausencia de un electrón en un enlace covalente completo entre los átomos de un semiconductor, sin otorgarle aún las propiedades de movilidad y de portador de carga positivo. En nuestra opinión, es preferible introducir las dos propiedades de un modo progresivo –proceso constructivo–, a través de diversas actividades, con objeto de favorecer el aprendizaje significativo del mismo. Téngase en cuenta que no es fácil, desde el punto de vista cognitivo, que alumnos de este nivel entiendan que una ausencia de materia pueda 'moverse y poseer carga'.

A.8 En un semiconductor, un electrón libre puede encontrarse en su movimiento con un hueco dejado por otro electrón. En tal caso, vuelve a ser un electrón ligado, que forma parte de un enlace; de manera que desaparecen tanto el electrón libre como el hueco. Al proceso se le denomina **recombinación**. Fíjate que en el proceso de recombinación, donde había un hueco deja de haberlo; sin embargo, el electrón que ha ocupado ese hueco, tuvo que dejar otro hueco cuando pasó a ser electrón libre. ¿Podemos hablar de movimiento de los huecos, al igual que con los electrones, en el interior de un semiconductor? Si es así, ¿en qué sentido lo harán respecto a los electrones?. Razona tu respuesta.

Comentarios

Con el propósito de que los alumnos comprendan la movilidad de los huecos, introducimos el concepto de recombinación. El proceso, contrario al de generación de pares electrón-hueco, tiene lugar cuando los electrones liberados de sus correspondientes enlaces no han adquirido la energía suficiente para permanecer en esa situación; de modo que son 'atrapados' fácilmente por los átomos de enlace, con el fin de que ocupen las vacantes dejadas por otros electrones liberados. El proceso, junto al de generación de pares electrón-hueco, permite a los alumnos comprender que esas vacantes -huecos- se mueven a través del semiconductor en sentido contrario al de los electrones libres (Figura 5.18).

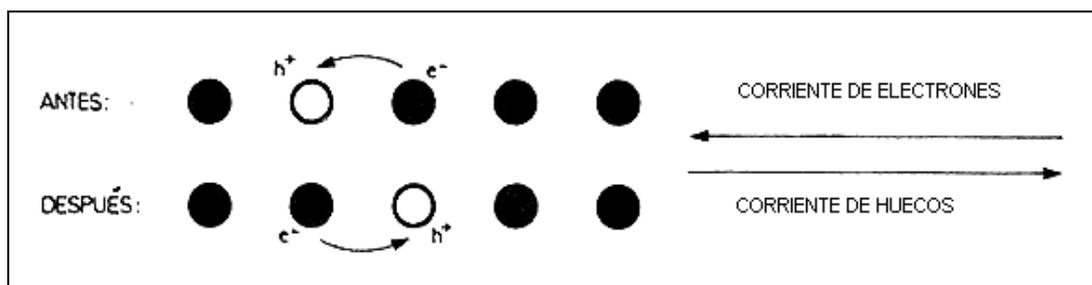


Figura 5.18 Movimiento de electrones y huecos en un material semiconductor.

A.9 Con el fin de que comprendas los procesos de generación y recombinación de pares electrón-hueco, piensa en la siguiente situación:

Imagina que en una habitación existen 5 sillas y 4 chicos. Cada chico representa un "electrón" y cada silla un "hueco". Si los chicos se sitúan, inicialmente, en sillas consecutivas, desde la izquierda, la silla que está en el extremo derecho quedará libre; es decir, existe un hueco. Si el chico situado más a la izquierda se levanta (tiene la energía necesaria para ello) y ocupa la silla del extremo derecho, deja libre la silla que ocupaba. Así, el hueco que inicialmente estaba en el extremo derecho, ha pasado a estar en el extremo izquierdo.

(a) Identifica en esta simulación cuál es el proceso de generación y cuál el de recombinación.

(b) ¿Comprendes ahora por qué los huecos también se mueven en los semiconductores? Escribe un comentario, y, si es preciso, vuelve a plantearte la cuestión de la actividad anterior.

Comentarios

El propósito de la actividad, que complementa la anterior, es reforzar los conceptos de generación y recombinación de pares electrón-hueco y, en consecuencia, la comprensión de la movilidad de los huecos. Con esta finalidad, se presenta una *simulación* sencilla, que, incluso, los alumnos pueden hacer en clase. En respuesta al apartado (a), el proceso de generación de un par electrón-hueco ocurre cuando el chico de la izquierda se levanta (electrón liberado) y deja una silla libre (hueco); mientras que el proceso de recombinación aparece cuando el chico (electrón libre) ocupa la silla libre (hueco) que se encontraba a la derecha. Es fácil ver que el sitio libre (hueco), situado inicialmente en la derecha, ha pasado a estar a la izquierda; con lo cual, su movimiento ha sido en sentido contrario al del chico (electrón libre) –respuesta a la cuestión (b)–. Esto permite a los alumnos revisar y contrastar las respuestas que han dado en la actividad anterior.

Se debe dejar claro a los alumnos que sólo se trata de una simulación y que, como tal, tiene sus limitaciones respecto a la situación real de un semiconductor. La idea del juego es representar de una manera aproximada la generación y recombinación de pares electrón-hueco, en el marco del modelo bidimensional del enlace covalente de un semiconductor. Además, la simulación que hemos descrito, si bien es adecuada para ilustrar dichos procesos, no es válida para hacer referencia a un semiconductor intrínseco, ya que no se tiene el mismo número de sillas (huecos) y chicos (electrones); será válido si hay una silla por cada chico. Por otra parte, si se desean simular los procesos de generación y recombinación en semiconductores extrínsecos, ha de haber más chicos que sillas, si es tipo n , o más sillas que chicos, si es tipo p . De este modo, la demasía de sillas (huecos) o de chicos (electrones) permite hacer referencia a impurezas aceptoras y donadoras, respectivamente. Se aconseja al profesorado que haga este tipo de simulaciones con los alumnos cuando estudien los semiconductores extrínsecos, en el siguiente módulo.

A.10 *Ya has debido concluir que un hueco es una ausencia de carga negativa (electrón), que se mueve por el interior de un semiconductor, en sentido contrario al de los electrones libres. Por ello, un hueco es considerado como una "carga positiva", cuyo valor es igual a la del electrón ($-1.6 \cdot 10^{-19}C$) pero de signo contrario ($1.6 \cdot 10^{-19}C$).*

Si aplicamos una diferencia de potencial a un semiconductor, ¿cómo será el movimiento de los huecos y los electrones libres?. Elige la afirmación correcta:

(a) Tanto los electrones como los huecos se moverán del potencial positivo al negativo.

(b) Los electrones se moverán del potencial negativo al positivo, mientras que los huecos lo harán del positivo al negativo.

(c) Los electrones se moverán del potencial positivo al negativo, mientras que los huecos lo harán desde el negativo hasta el positivo.

Comentarios

Concluimos aquí el proceso mediante el cual los alumnos han de llegar a comprender la movilidad de los huecos en el interior de los semiconductores. No obstante, para aquellos alumnos que no lo hayan conseguido, la actividad ofrece de forma explícita la información al respecto.

Llegado a esta situación, es el momento oportuno de introducir la propiedad de carga positiva de los huecos. Es una cualidad que se justifica por el hecho de que su comportamiento es justo el contrario al de los electrones: 'como si' fuesen cargas positivas de valor $1'6 \cdot 10^{-19}$ C.

Con objeto de medir el grado de asimilación de los alumnos, sobre el comportamiento de los huecos, se propone la cuestión de la actividad. En ésta, los alumnos han de concluir que, al aplicar una diferencia de potencial a un semiconductor, los electrones se moverán hacia el potencial positivo, mientras que los huecos lo harán en sentido contrario –hacia el potencial negativo– (opción (b)).

Como indicamos en el capítulo 2, la asignación de $1'6 \cdot 10^{-19}$ C, como valor de la carga de los huecos, origina conflictos cognitivos en los alumnos, ya que pueden confundir los huecos con los protones. En este sentido, se debe insistir en que los protones sí son cargas reales, mientras que los huecos son ficticias (no son reales); y, además, que los protones no pueden moverse por encontrarse en el interior de los núcleos atómicos, mientras que los huecos sí se mueven por el material.

A.11 *En la conducción eléctrica de un semiconductor intrínseco, bien podemos hablar de una corriente negativa debida a los electrones libres; o bien de una corriente positiva debida a los huecos, que irá en sentido contrario a la primera. Con esto, responde a lo siguiente:*

(a) *¿Cuál de las dos corrientes tendrá mayor número de cargas? Razona tu respuesta.*

(b) *¿Cómo crees que se obtiene, en un semiconductor, mayor número de electrones libres que huecos, o al revés? Si es preciso, busca información sobre ello.*

Comentarios

En la cuestión (a), los alumnos han de responder que ambas corrientes – de electrones y de huecos– tienen el mismo número de portadores, argumentando que, al no existir impurezas en los semiconductores intrínsecos, cada liberación de un electrón de valencia lleva asociada la correspondiente generación de un hueco. Si se estima necesario, se les sugiere que vuelvan a la actividad 4 del módulo I. La cuestión (b) trata de que los alumnos entren en contacto, a través de la búsqueda de información, con los conceptos de dopado y semiconductor extrínseco. Esto nos va a permitir colocar a los alumnos en disposición de afrontar el estudio de los semiconductores extrínsecos, en el módulo siguiente.

A.12 *Completa el siguiente texto con las palabras que faltan:*

“Los átomos de un semiconductor están unidos mediante enlace _____. Cada átomo está rodeado de _____ átomos iguales, compartiendo con cada uno _____ electrones. Los semiconductores sin ningún tipo de impurezas se denominan _____. Estos, a temperaturas muy bajas son _____ de la electricidad, ya que todos los electrones están ligados a sus átomos; pero si se le aporta la energía de _____ correspondiente, se generan _____ que originan una corriente eléctrica. Los electrones, al desligarse, han dejado unas vacantes en la estructura llamadas _____, que son considerados como cargas _____. El proceso en el que se libera un electrón, y aparece la correspondiente vacante, se denomina _____”

_____; mientras que al proceso en el que un electrón libre pasa a ocupar una de esas vacantes se denomina _____."

Comentarios

La finalidad de la actividad es que los alumnos hagan una recapitulación de los conceptos más importantes sobre la estructura y el comportamiento eléctrico de los semiconductores intrínsecos. El texto que se propone se ha de leer como sigue:

"Los átomos de un semiconductor están unidos mediante enlace covalente. Cada átomo está rodeado de cuatro átomos iguales, compartiendo con cada uno dos electrones. Los semiconductores sin ningún tipo de impurezas se denominan intrínsecos. Estos, a temperaturas muy bajas son aislantes de la electricidad, ya que todos los electrones están ligados a sus átomos; pero si se le aporta la energía de ionización correspondiente, se generan electrones libres que originan una corriente eléctrica. Los electrones, al desligarse, han dejado unas vacantes en la estructura llamadas huecos, que son considerados como cargas positivas. El proceso en el que se libera un electrón, y aparece la correspondiente vacante, se denomina generación de un par electrón-hueco; mientras que al proceso en el que un electrón libre pasa a ocupar una de esas vacantes se denomina recombinación."

4.5 Módulo V: "Semiconductores extrínsecos. Semiconductores tipo p y n"

El último módulo tiene como propósito que el alumnado: 1) comprenda el *proceso de dopado*, que da origen a los *semiconductores extrínsecos*, y su papel en la conducción eléctrica de estos materiales; 2) que sea capaz de diferenciar los semiconductores extrínsecos de los intrínsecos; y 3) que distinga los *semiconductores extrínsecos p y n*, en función del tipo de impurezas con que se dopan. Asimismo, se introduce, a modo de complemento, el *diodo semiconductor de unión pn* como el dispositivo electrónico más elemental.

♦ *Objetivos*

A la vista de lo dicho antes, con el estudio del módulo se espera que los alumnos desarrollen las capacidades siguientes:

1. Comprendan el proceso de dopado, que da origen a los semiconductores extrínsecos, y el papel que esto juega en la conducción eléctrica en semiconductores.
2. Sean capaces de diferenciar los semiconductores extrínsecos de los intrínsecos.
3. Distingan los semiconductores extrínsecos *p* y *n*, en función del tipo de impurezas con que se dopan.
4. Conozcan el dispositivo electrónico más elemental a partir de materiales semiconductores: el diodo de unión *pn*.

♦ *Contenidos*

Con el fin de alcanzar los objetivos didácticos enunciados, se proponen los contenidos que siguen.

Conceptos	Procedimientos	Actitudes
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Dopado de un semiconductor. Semiconductores extrínsecos. ➤ Impurezas donadoras y aceptoras. Semiconductores p y n. Diodo de unión pn. ➤ Conducción eléctrica en semiconductores extrínsecos. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Búsqueda de información (prensa, bibliotecas, Internet,...) sobre aspectos relacionados con los semiconductores. ➤ Reconocimiento de estructuras que permitan distinguir entre semiconductores intrínsecos y extrínsecos. ➤ Descripción del proceso de dopado en los semiconductores y los métodos para obtener semiconductores p y n. ➤ Elaboración de diagramas conceptuales ordenados y con estructuración coherente. ➤ Resolución de actividades que requieren la aplicación del método científico. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Fomento del trabajo en equipo, asumiendo responsabilidades y aceptando y valorando las opiniones de los demás. ➤ Fomento de la creatividad y curiosidad por la Física de Semiconductores. ➤ Adquisición de ideas científicas correctas sobre la Física de los semiconductores extrínsecos. ➤ Fomento de actitudes positivas y de interés por el estudio de la Física de Semiconductores como base de la Electrónica.

Con objeto de ofrecer una visión global y coherente de los conceptos que se desarrollan en el módulo, presentamos el *mapa conceptual* de la figura 5.19.

♦ *Criterios e indicadores de evaluación*

Los criterios e indicadores de evaluación que proponemos para valorar el grado de consecución de los objetivos, se detallan en lo que sigue.

En relación con la adquisición de conceptos
<ol style="list-style-type: none"> 1) Comprende el proceso de dopado y el papel que juega en la conducción eléctrica de los semiconductores. 2) Distingue los semiconductores extrínsecos de los intrínsecos. 3) Describe los semiconductores p y n y explica la conducción eléctrica en semiconductores extrínsecos a partir del modelo del enlace covalente con impurezas. 4) Conoce el diodo de unión pn y lo concibe como el dispositivo electrónico más elemental.
En relación con el planteamiento y la resolución de problemas
<ol style="list-style-type: none"> 5) Formula hipótesis y lleva a la práctica una estrategia concreta de resolución, y comprueba, con actitud crítica, las soluciones posibles que plantea una cuestión o problema. 6) Manifiesta actitudes de curiosidad e interés por indagar cuestiones relacionadas con la estructura y el comportamiento eléctrico de los semiconductores extrínsecos.

En relación con la expresión y la comprensión
7) Elabora diagramas conceptuales ordenados y con estructuración coherente sobre lo estudiado.
8) Analiza críticamente la información recogida en diversas fuentes, diferenciando lo relevante de lo accesorio y los datos de las opiniones, relacionado con los semiconductores extrínsecos y la unión <i>pn</i> semiconductor.
9) Comunica con claridad y precisión las conclusiones de una investigación.
En relación con la participación y el trabajo en equipo
10) Se implica en la realización de las tareas de clase.
11) Participa en las actividades organizadas en grupo, asumiendo su parte de responsabilidad, mostrándose respetuoso con las opiniones de los demás y defendiendo las propias con argumentos basados en sus conocimientos científicos.

◆ *Temporización*

El tiempo previsto para el desarrollo del módulo es de *3 sesiones* de 1 hora cada una.

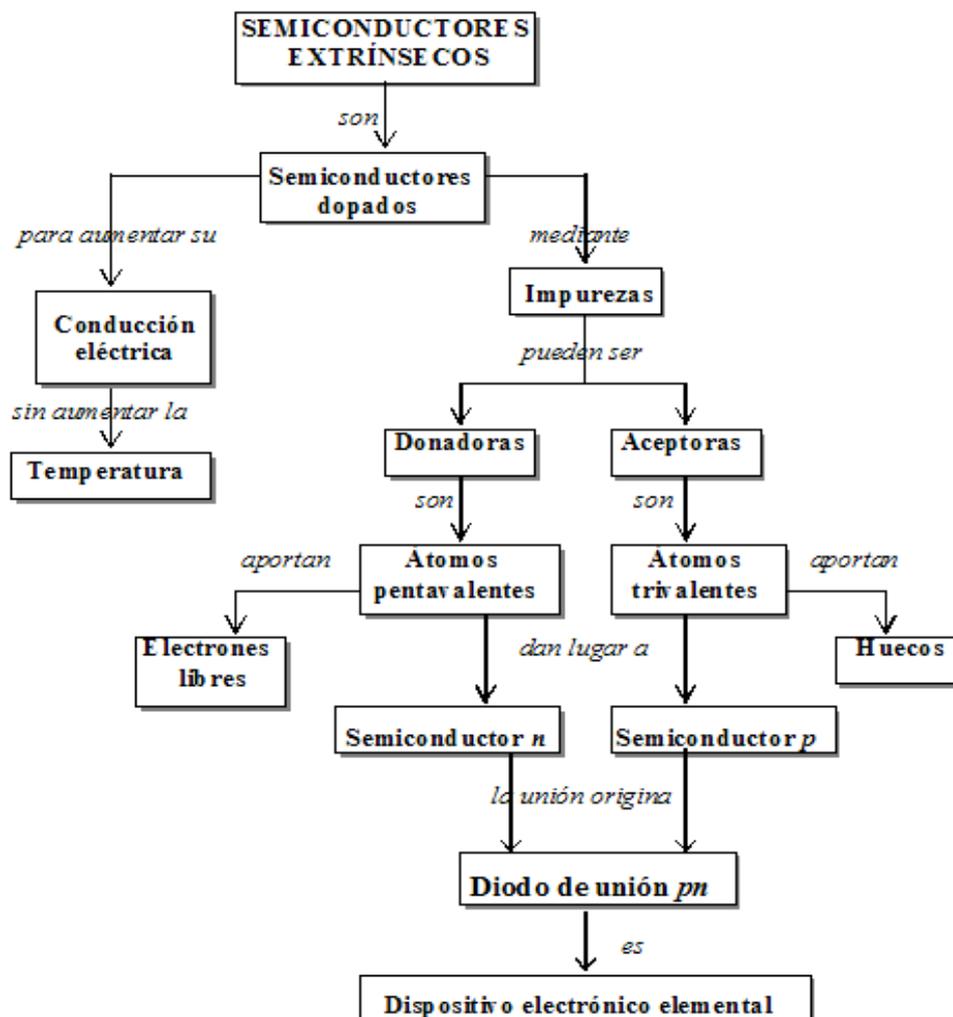


Figura 5.19 Mapa conceptual: Semiconductores extrínsecos.

♦ *Actividades de enseñanza/aprendizaje*

A continuación, presentamos la propuesta de actividades orientadas al estudio del módulo. Cada actividad va acompañada de unos *comentarios didácticos*, cuyo propósito es servir de orientación o guía para su adecuado desarrollo en el aula.

A.1 *En muchas aplicaciones de la Electrónica interesa modificar el número de electrones libres o de huecos en los semiconductores, sin variar la temperatura, con el propósito de aumentar la conducción eléctrica en su interior. Esto se consigue introduciendo impurezas en los semiconductores intrínsecos. El proceso consiste en añadir átomos de otras sustancias que sean de tamaño semejante, con objeto de no alterar significativamente la estructura inicial del semiconductor. Es por ello que se utilizan átomos con 3 ó 5 electrones de valencia.*

Encuentra todos los átomos de la tabla periódica que posean 3 y 5 electrones de valencia.

Comentarios

Una vez que los alumnos han tenido un primer contacto con los semiconductores extrínsecos, a través de la búsqueda de información en la actividad 11 del módulo III, se está en disposición de afrontar el estudio de los aspectos básicos sobre su estructura y comportamiento físico. A partir de aquí, proponemos un conjunto de actividades con las que los alumnos han de construir sus conocimientos, acerca de los semiconductores extrínsecos, de un modo coherente y progresivo.

En la actividad justificamos la necesidad de dopar con impurezas los semiconductores intrínsecos, con objeto de aumentar la conductividad y, por tanto, mejorar sus aplicaciones prácticas en la Electrónica. Asimismo, se incide en que las impurezas no han de producir alteraciones importantes en la estructura inicial del semiconductor; lo que explica que los átomos que se utilicen tengan 3 ó 5 electrones de valencia –grupos III y V de la tabla periódica– cuyos tamaños son similares a los del semiconductor intrínseco. Con la finalidad de que los alumnos se familiaricen con las impurezas, se les pide que encuentren los elementos pertenecientes a los grupos III (B, Al, Ga, In, Tl) y V (N, P, As, Sb, Bi) del Sistema Periódico. Después de que los alumnos encuentren estos elementos, hay que aclararles que, en la práctica, no todos se utilizan como impurezas; así, por ejemplo, el nitrógeno no es útil por presentarse en estado gaseoso. Normalmente, para aumentar la concentración de electrones se añaden átomos de fósforo, arsénico y antimonio, entre los cuales el más común es el fósforo –impurezas donadoras–; mientras que para aumentar la concentración de huecos se añaden átomos de boro, galio, indio o aluminio, de los cuales el más habitual es el boro –impurezas aceptoras–.

A.2 *Al proceso mediante el cual se introducen impurezas en un semiconductor se denomina dopado. Cuando un semiconductor intrínseco está dopado con impurezas pasa a denominarse semiconductor extrínseco. Imagina que en un semiconductor intrínseco de germanio sustituimos uno de sus átomos por otro de antimonio. Éste, al ocupar el lugar del primero, estará rodeado de 4 átomos de germanio con los que se une mediante enlace covalente. Teniendo en cuenta el número de electrones de valencia del antimonio, determina:*

(a) El número de electrones que compartirá con los átomos de germanio vecinos.

(b) ¿Le sobran o le faltan electrones? Razona tu respuesta.

Comentarios didácticos

Si bien los alumnos ya han contactado con los conceptos de dopado y semiconductor extrínseco, en la actividad anterior, aquí se ofrecen de manera explícita, con la intención de que ninguno quede rezagado en lo que sigue del módulo. En la actividad comenzamos a estudiar el proceso mediante el cual se dopa a un semiconductor; para ello, se describe una situación, que los alumnos han de afrontar con los conocimientos que ya poseen sobre la estructura covalente de los semiconductores y la información ofrecida en la actividad anterior. Comprenderán que un átomo de antimonio, cuyo tamaño es similar al del germanio, encajará sin dificultad en la estructura covalente del germanio, compartiendo un par de electrones con cada uno de los cuatro átomos de germanio más próximos. Puesto que el antimonio es un átomo pentavalente, uno de sus electrones de valencia quedará desapareado, ya que no cabe en ninguno de los cuatro enlaces (véase la Figura 5.20). En la discusión final, con la puesta en común de la actividad, el profesor debe añadir que el electrón que sobra no influye en el enlace covalente; la energía necesaria para liberarlo es mucho menor que la requerida para romper un enlace covalente. Esto explica que ese electrón, incluso a temperatura ambiente, posea la energía suficiente para convertirse en un electrón de conducción; con lo cual, se consigue tener un electrón de conducción sin su correspondiente hueco asignado, por lo que se tendrá que la corriente debida a los electrones será mayor que la debida a los huecos.

A.3 Has visto, en la actividad anterior, que si se introducen átomos de antimonio en un semiconductor intrínseco, se aumenta el número de electrones libres (Figura 5.20). Determina qué tipo de impurezas –átomos– hay que añadir a un semiconductor para crear un hueco. Asimismo, dibuja un esquema similar al de la figura 5.20, donde se observe la creación de un hueco al introducir esa impureza.

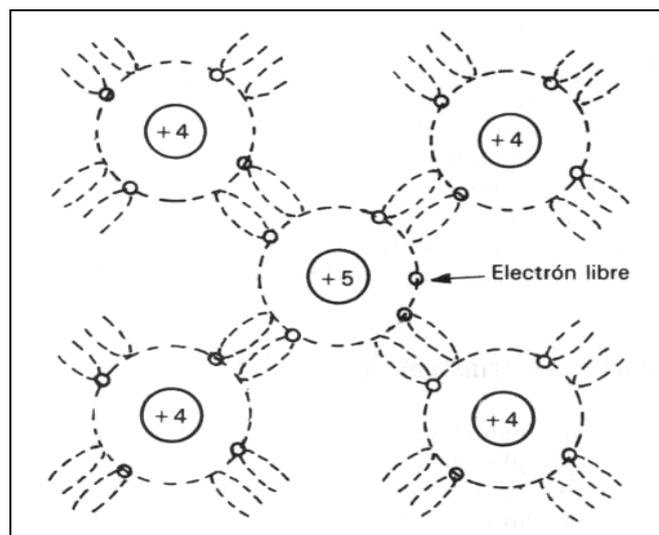


Figura 5.20 Generación de un electrón libre mediante la introducción de impurezas.

Comentarios

La actividad enlaza con la anterior. Una vez que los alumnos han comprendido el proceso por el cual se aumenta el número de electrones libres, mediante dopado con átomos pentavalentes, están en disposición de concluir que la generación de un hueco, sin el correspondiente electrón libre, se consigue con la introducción de un átomo trivalente. En este caso, el átomo extraño no posee el número suficiente de electrones de valencia para completar los cuatro enlaces covalentes; con lo cual, queda un hueco en uno de los enlaces. El hueco puede ser ocupado por un electrón ligado de un enlace vecino, de modo que el hueco se mueve por el semiconductor, tal y como lo hacen los huecos generados en la ruptura de enlaces debido a la temperatura. De esta forma, se consigue aumentar la corriente debida a huecos respecto a la de electrones. En analogía con el esquema de la figura 5.20, el esquema que da idea de la generación extrínseca de un hueco se presenta en la figura 5.21.

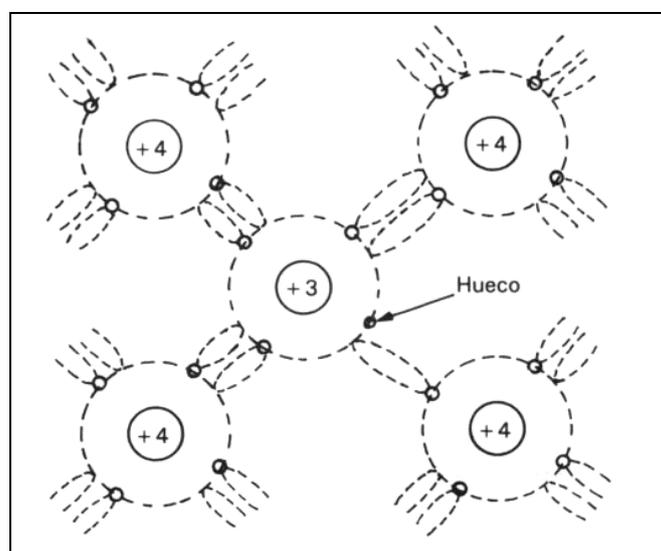


Figura 5.21 Generación de un hueco mediante la introducción de impurezas.

A.4 La impureza (átomo) que incorpora un electrón libre en un semiconductor se denomina **átomo donador** o **impureza donadora**. ¿Cómo se denomina la impureza que origina un hueco en un semiconductor?

Comentarios

La presente actividad tiene por objeto dar nombre a los dos tipos de impurezas, que hasta ahora no se han mostrado de manera explícita. Puesto que los alumnos han hecho una búsqueda de información al respecto –actividad 11 del módulo III–, se trata de que vuelvan a repasar esa información y constaten que las impurezas, que aportan electrones libres a un semiconductor, se denominan donadoras; mientras que las que aportan huecos se denominan aceptoras.

A.5 Ya sabes que en los semiconductores intrínsecos el número de electrones y de huecos es el mismo, mientras que en los semiconductores extrínsecos el número de electrones libres es distinto al número de huecos. Así, hemos visto que si se

introducen átomos con 5 electrones de valencia, como el antimonio, a un semiconductor intrínseco, éste aumenta el número de electrones libres con respecto al de huecos. En tal caso se dice que es un **semiconductor extrínseco tipo n** (de negativo). A continuación, responde a lo siguiente:

(a) Si a un semiconductor intrínseco se le añaden átomos de indio (3 electrones de valencia), ¿cómo se denomina el semiconductor en este caso?

(b) El hecho de que en un semiconductor extrínseco haya distinto número de electrones libres y de huecos, ¿significa que no es eléctricamente neutro?. Razona tu respuesta.

Comentarios

Con las actividades anteriores hemos estudiado en qué consiste el proceso de dopado de los semiconductores, así como los efectos que producen uno y otro tipo de impurezas –donadoras oceptoras–. En ésta tratamos de distinguir los semiconductores dopados con impurezas donadoras de los dopados con impurezasceptoras. Se introducen los semiconductores tipo n como aquellos que poseen mayor número de electrones libres que huecos. La designación de la letra 'n' (de negativo) responde a que la corriente que predomina en el semiconductor es la debida a los electrones. Esto permitirá a los alumnos, en la cuestión (a), designar como 'positivos' (tipo p) a los semiconductores dopados con impurezasceptoras, donde la corriente debida a los huecos es mayor que la de electrones libres.

En ocasiones, el hecho de que en los semiconductores extrínsecos exista distinto número de electrones libres y de huecos, hace pensar a los alumnos que no son eléctricamente neutros; en este sentido, se plantea la cuestión (b). Las impurezas que se insertan en un semiconductor, ya sean donadoras oceptoras, son átomos –por tanto, neutros– que aportan el mismo número de electrones y de protones al semiconductor; de ahí que, aunque el átomo insertado quede ionizado al ocupar el lugar de un átomo de silicio o germanio, el semiconductor en su conjunto sigue siendo neutro. Asimismo, se ha de matizar que estos iones –positivos si proceden de una impureza donadora, o negativos de una impurezaceptoras–, no contribuyen a la conducción eléctrica, ya que ocupan posiciones fijas en la estructura cristalina y no pueden moverse; en caso contrario, supondría una ruptura del material. Por último, indicar que esos iones influyen en la corriente eléctrica que se origine, ya que atraen o repelen electrones y huecos y, por tanto, modifican la velocidad de estos¹⁷.

A.6 Hemos visto que en los semiconductores intrínsecos, salvo que estuviesen a temperaturas extremadamente bajas, existen electrones libres y sus correspondientes huecos; de forma que si se origina una corriente de electrones libres, también se originará una de huecos de igual magnitud y en sentido contrario. En cambio, en los semiconductores extrínsecos, debido a las impurezas, no existe el mismo número de electrones que huecos. Así, en un semiconductor tipo n el número de electrones libres es mayor que el de huecos. En este caso se dice que los electrones son **portadores mayoritarios, mientras que los huecos son **portadores minoritarios**.**

¹⁷La intensidad de corriente en un material es directamente proporcional a la velocidad de los portadores, y viene dada por la expresión $i = n \cdot e \cdot A \cdot v$; donde n es el número de electrones por unidad de volumen, e es la carga del electrón, A es el área de la sección transversal del material, y v es la velocidad de los portadores.

Con arreglo a lo anterior, indica la veracidad (V) o falsedad (F) de las siguientes afirmaciones:

(a) En un semiconductor tipo p los huecos son los portadores mayoritarios.

(b) En un semiconductor tipo p los electrones libres son los portadores mayoritarios.

(c) Como un semiconductor tipo p es intrínseco, no existen portadores mayoritarios ni minoritarios.

(d) En un semiconductor tipo p los electrones libres son los portadores minoritarios.

Comentarios

Antes de estudiar la conducción eléctrica en los semiconductores extrínsecos, en la siguiente actividad, es preciso que los alumnos distingan entre portadores de carga mayoritarios y minoritarios. A diferencia de los semiconductores intrínsecos, donde las corrientes debidas a huecos y a electrones son de la misma magnitud, en los semiconductores extrínsecos estas corrientes son diferentes debido a las impurezas. Puesto que un semiconductor tipo n se obtiene mediante el dopado de impurezas donadoras, se tiene un mayor número de electrones libres que huecos; con lo cual, los portadores de carga mayoritarios son los electrones y los huecos los minoritarios. Esta información, ofrecida en la actividad, permitirá a los alumnos concluir que en los semiconductores tipo p ocurre justo lo contrario; es decir, que los portadores mayoritarios son los huecos (opción (a)) y los electrones los minoritarios (opción (d)).

A.7 Hemos estudiado, en la actividad 10 del módulo III, que al aplicar una diferencia de potencial a un semiconductor intrínseco, se generan sendas corrientes de electrones y huecos que circulan en sentidos contrarios. Si ahora aplicamos una diferencia de potencial a un semiconductor extrínseco tipo n y a otro tipo p , determina cuál de los esquemas de la figura 5.22 representa el comportamiento de los portadores de carga en cada uno de ellos.

Comentarios

El fin de la actividad es que los alumnos comprendan la conducción eléctrica en los semiconductores extrínsecos; para ello, se plantean los esquemas de la figura 7.22. En estos se presentan sendos semiconductores extrínsecos, p y n , a los que se les aplica una diferencia de potencial. En cada semiconductor se han resaltado los portadores mayoritarios con un mayor número de éstos; con lo cual, es fácil que los alumnos concluyan que el esquema a) corresponde a un semiconductor n y el b) a un semiconductor p . Al aplicar una diferencia de potencial, con independencia de que se trate de un semiconductor tipo p o tipo n , el sentido del movimiento de los portadores de carga es el mismo en ambos casos, tal como se muestra en la figura. Los electrones libres siempre circularán del polo negativo al positivo del generador, mientras que los huecos lo harán en sentido contrario. Se ha querido resaltar, en los esquemas de ambos semiconductores, que los únicos portadores de carga que circulan por todo el circuito (a través de los cables que conectan al semiconductor con el generador) son los electrones. Esto tiene por objeto evitar que los alumnos lleguen a pensar que los huecos también circularán por los cables del circuito, en sentido contrario a los electrones; de ahí que los cables de conexión se hayan dibujado con los portadores de carga negativa circulando

por su interior. No hay que olvidar que los huecos son portadores de carga ficticios, cuya existencia se restringe al interior de los semiconductores, y que surgen como consecuencia de los modelos que se utilizan en el estudio de los semiconductores.

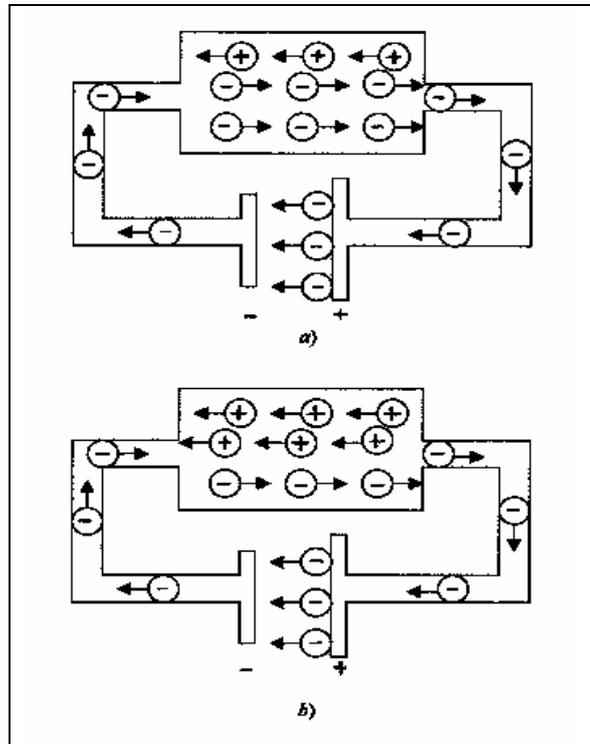


Figura 5.22 Movimiento de los portadores de carga en semiconductores extrínsecos al aplicar una diferencia de potencial entre sus extremos.

A.8 La unión de dos semiconductores p y n se denomina **diodo de unión pn** , que es el dispositivo electrónico más elemental. En la práctica, el diodo de unión no se obtiene por mero contacto físico entre un semiconductor n y un semiconductor p ; sino que se parte de un semiconductor extrínseco, por ejemplo, tipo n , y luego se le introducen impurezas aceptoras, en una zona concreta, con el fin de crear la zona p . El aspecto comercial de un diodo de unión pn se muestra en la figura 5.23. Busca información sobre las técnicas que se utilizan en el proceso de obtención o fabricación de un diodo de unión pn .

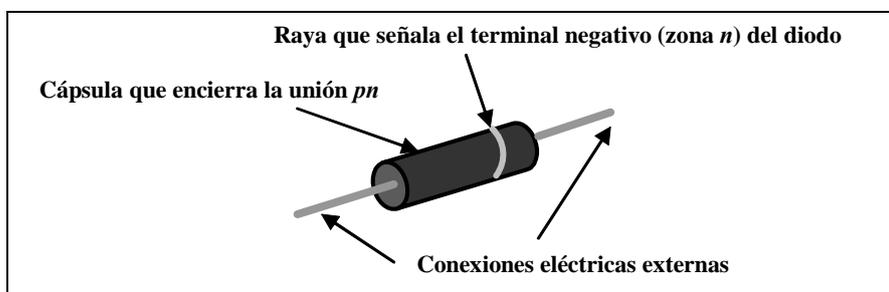


Figura 5.23 Aspecto de un diodo de unión pn comercial.

Comentarios

Se introduce el diodo de unión pn como el dispositivo electrónico semiconductor más elemental. Se muestra, también, el aspecto de un diodo de unión pn comercial (Figura 5.23), con objeto de que los alumnos se familiaricen con el aspecto real del dispositivo. Asimismo, como información complementaria, se intenta que los alumnos busquen información sobre este dispositivo electrónico semiconductor. Si bien, creemos que su estudio merece ser tratado en una propuesta didáctica específica (García Carmona, 2005), una vez que los alumnos hayan afianzado los conceptos básicos de la estructura y comportamiento de los semiconductores. Por ello, no se profundiza más sobre ello en el presente módulo.

A.9 *Elabora un mapa conceptual con los principales conceptos estudiados sobre semiconductores.*

Comentarios

La elaboración de un mapa conceptual obligará a los alumnos a llevar a cabo una revisión de los conceptos estudiados. Les ha de servir para hacer una síntesis del tema, a base de establecer una jerarquización de los conceptos por orden de importancia, a través de una interconexión coherente de los mismos. Una vez que los alumnos han elaborado su mapa conceptual, se hará una puesta en común, con objeto de escoger aquél que mejor ilustre la organización del tema. Al final, el profesor mostrará un mapa conceptual, con el fin de que los alumnos corrijan y/o completen el que han escogido por consenso en la puesta en común. Por ejemplo, el que se muestra al principio del módulo (Figura 5.19).

5. Hipótesis respecto al modelo didáctico propuesto

En el capítulo anterior, planteamos el problema de investigación mediante diversos interrogantes, que constituyen el eje sobre el que se articula la presente investigación. Dado el carácter científico del problema formulado, se hace necesario establecer una serie de suposiciones o conjeturas, como posibles respuestas al mismo. Las posibles soluciones o respuestas al problema, enunciadas como hipótesis de acción, deben plantearse en forma de relación entre variables, que han de ser definidas en el diseño experimental, con el fin de comprobar empíricamente dichas relaciones.

A la vista del modelo didáctico propuesto –en forma de módulos didácticos constructivistas– y teniendo en cuenta que la solución al problema general de investigación está contenida en su enunciado de manera implícita, formulamos la siguiente hipótesis de acción:

- *Hipótesis de acción general*

¿Es posible integrar, de forma racional y progresiva, las nociones básicas de Física de Semiconductores en el currículo de Ciencias (Física y Química) de la ESO?: Sí, mediante el diseño de un modelo didáctico, con enfoque constructivista, basado en módulos didácticos adaptados al nivel cognitivo del alumnado de esta etapa educativa.

Debido al carácter general con que se ha formulado la hipótesis de acción anterior, su operatividad y, por tanto, su comprobación directa, son complejas. Por este motivo, es conveniente desglosarla en otras hipótesis de acción más concretas, con la intención de que sean contrastadas empíricamente.

En primer lugar, que la integración de nociones de Física de Semiconductores en la ESO sea gradual y progresiva, en un marco de aprendizaje constructivista, exige del alumnado una motivación especial, que le lleve a ser autónomo en su aprendizaje y, por tanto, consciente de sus logros y dificultades de aprendizaje. En consecuencia, habrá que verificar si la aplicación del modelo didáctico propuesto fomenta el *aprendizaje autónomo* del alumnado, mediante el desarrollo de *actitudes* favorables hacia el estudio de la temática. En concreto, se trata de contrastar la hipótesis siguiente:

- *Hipótesis de acción I*

¿Cómo se puede motivar al alumnado de ESO hacia el estudio de nociones básicas de Física de Semiconductores?: Mediante el diseño de módulos didácticos, con enfoque constructivista, que: a) sean atractivos y prácticos para el alumnado de este nivel; b) propicien un clima de trabajo en el aula, que haga participar al alumnado activamente en el desarrollo del proceso educativo; c) fomenten el desarrollo de actitudes favorables hacia el estudio de la Física de Semiconductores.

Si se asume la certeza de la hipótesis anterior, se dan las condiciones idóneas para que el alumnado esté en disposición de lograr un aprendizaje significativo de los contenidos propuestos. Por tanto, también se debe contrastar si el modelo didáctico planteado propicia la *autorregulación* del aprendizaje, en relación con las nociones básicas de Física de Semiconductores, con vistas a que éste sea significativo. Esto es, habrá que verificar la hipótesis siguiente:

- *Hipótesis de acción II*

¿Cómo se puede favorecer el aprendizaje significativo de nociones de Física de Semiconductores en alumnos de ESO?: Mediante un modelo didáctico, desarrollado en módulos didácticos constructivistas, que: a) explicita y transfiera, convenientemente, al alumnado los objetivos de aprendizaje previstos; b) permita al alumnado ser consciente de sus errores y capaz de gestionarlos con el fin de que los corrija (autorregulación del aprendizaje).

Desde una visión cercana a la realidad educativa, se ha de asumir que el aprendizaje significativo en Física, y particularmente en Física de Semiconductores, no es tarea fácil. En consecuencia, la integración y consolidación de esta materia en el currículo de Ciencias (Física y Química) de la ESO, se verá favorecida en la medida en que las dificultades percibidas por los alumnos no excedan a las del resto de contenidos propuestos actualmente. Por ello, será necesario comprobar si, en una primera experiencia sobre enseñanza/aprendizaje de la Física de Semiconductores en la ESO, las dificultades detectadas son del orden, o menores, de las que se manifiestan en el resto de contenidos de Física y Química. Concretamente, se debe contrastar la hipótesis siguiente:

- *Hipótesis de acción III*

¿Es posible introducir el estudio de nociones de Física de Semiconductores en el nivel de ESO, sin que el alumnado perciba mayores dificultades de aprendizaje que las que presentan en el resto de contenidos de Física y Química de esta etapa educativa?: Sí, mediante el uso de módulos didácticos donde: a) se adapten, adecuadamente, los contenidos de Física de Semiconductores al nivel de ESO; b) los contenidos se presenten de un modo más atractivo que otros de Física y Química introducidos mediante la metodología habitual (basada en la transmisión-recepción).

La verificación de las hipótesis anteriores exige un marco metodológico que posibilite la aplicación y evaluación del modelo didáctico en un espacio educativo natural; esto es, una metodología basada en la investigación-acción. Ésta nos ha de proporcionar la información necesaria para obtener una serie de conclusiones, que nos lleven a establecer la *Teorización* del proceso educativo realizado. En consecuencia, será necesario comprobar si existe un *marco* o *patrón referencial* (Teorización), que dé significado a la investigación realizada en el aula. Es decir, se trata de contrastar la siguiente hipótesis:

- *Hipótesis de acción IV*

¿Es posible llevar a cabo una investigación orientada a introducir nociones de Física de Semiconductores en el currículo de Ciencias (Física y Química) de la ESO, y obtener conclusiones consistentes en aras de consolidar su enseñanza en la etapa?: Sí, mediante la puesta en práctica y evaluación de módulos didácticos constructivistas, en el marco de una Investigación-acción práctica, que permita elaborar una Teorización de la acción realizada en los siguientes términos:

- 1) Se ponga de manifiesto la calidad de la experiencia, en tanto se confirmen la validez y fiabilidad de los elementos empleados en la recogida y análisis de los datos, siguiendo los criterios de credibilidad, dependencia, confirmabilidad y transferibilidad de una investigación-acción.*
- 2) El empleo de módulos didácticos constructivistas favorezca el aprendizaje significativo de nociones de Física de Semiconductores.*
- 3) Sea posible averiguar si existe un patrón estable de concepciones alternativas sobre Física de Semiconductores en el alumnado de ESO.*

6. Referencias bibliográficas

Allal, L. (1991). *Vers une pratique de l'évaluation formative*. Bruxelles: De Boek Univers.

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

Alonso, M., Gil, D. y Martínez-Torregrosa, J. (1992). Los exámenes de Física en la enseñanza por transmisión y en la enseñanza por investigación. *Enseñanza de las Ciencias*, 10(2), pp. 127-138.

Bernier, P. (2001). Plásticos para la óptica y la electrónica. *Mundo Científico*, 220, pp 12-13.

Campanario, J.M. y Moya, A. (1999). ¿Cómo enseñar Ciencias? Principales tendencias y propuestas. *Enseñanza de las ciencias*, 17(2), pp. 179-192.

Cañal, P. *et al* (1997). *Investigar en la escuela: elementos para una enseñanza alternativa*. Sevilla: Díada.

Castillo, S. y Cabrerizo, J. (2003a). *Evaluación Educativa y Promoción Escolar*. Madrid: Pearson.

Castillo, S. y Cabrerizo, J. (2003b). *Prácticas de Evaluación Educativa*. Madrid: Pearson.

CEJA (Consejería de Educación de la Junta de Andalucía) (2004). *Curriculum de Física y Química de la Educación Secundaria Obligatoria*. En: http://www.juntadeandalucia.es/averroes/publicaciones/etapa_eso/fyq.pdf.

Cordero, S. *et al* (2002). ¿Y si trabajan en grupo...? Interacciones entre alumnos, procesos sociales y cognitivos en clases universitarias de Física. *Enseñanza de las Ciencias*, 20(3), pp. 427-441.

Dávila, S. (2000). El aprendizaje significativo: esa extraña expresión utilizada por todos y comprendida por pocos. *Contexto Educativo*, 9. En: <http://www.contexto-educativo.com.ar>.

Fernández, J., *et al* (2002). *¿Cómo hacer unidades didácticas innovadoras?* (2ª ed.). Sevilla: Díada.

Galagovsky, L.R. (2004). Del aprendizaje significativo al aprendizaje sustentable. Parte I: El modelo teórico. *Enseñanza de las Ciencias*, 22(2), pp. 229-240.

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

García Carmona, A. (2005). Un estudio de caso sobre la eficiencia de los procesos de autorregulación en el aprendizaje de la Física. *Ensaio: Pesquisa em Educação em Ciências*, 7(1). En: http://www.fae.ufmg.br/ensaio/v7_n1/volumeVIIInI.htm.

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

Gil, D. y Guzmán, M. (1993). *Enseñanza de las Ciencias y la Matemática. Tendencias e Innovaciones*. Organización de Estados Iberoamericanos para la Educación, la Ciencia y la Cultura.

Gil, D. y Valdés, P. (1995). Contra la distinción clásica entre «teoría», «prácticas experimentales» y «resolución de problemas»: el estudio de las fuerzas elásticas como ejemplo ilustrativo. *Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales*, 9, pp. 3-25.

Giné, N. y Parcerisa, A. (2000). *Evaluación en la Educación Secundaria. Elementos para la reflexión y recursos para la práctica*. Barcelona: Graó.

Hierrezuelo, J. y Montero, A. (1991). *La Ciencia de los alumnos*. Vélez-Málaga. Elzevir.

Hodson, D. (1994). Hacia un enfoque más crítico del trabajo de laboratorio. *Enseñanza de las Ciencias*, 12(3), pp. 299-313.

Jiménez, B., González, A.P. y Ferreres, V. (1989). *Módulos didácticos para la innovación educativa*. Barcelona: Promociones y Publicaciones Universitarias.

Latorre, A. (2003). *La investigación-acción. Conocer y cambiar la práctica educativa*. Barcelona: Graó.

Macaulay, D. y ARDLEY, N. (1998). *The New Way Things Work* (2nd ed.). Londres: Dorling Kindersley.

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

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

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

Moreira, M.A. y Greca, I. (2003). Cambio conceptual: análisis crítico y propuestas a la luz de la teoría del aprendizaje significativo. *Ciência y Educação*, 9(2), pp. 301-315.

Pozo, J.I. *et al* (1992). Las ideas de los alumnos sobre Ciencia como teorías implícitas. *Infancia y Aprendizaje*, Madrid, 62/63, pp. 187-204.

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

Rivas, F. (1997). *El proceso de enseñanza/aprendizaje en la situación educativa*. Barcelona: Ariel.

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

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

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

Rosado, L., Gómez, J.A. e Insausti, M.J. (2001). Una epistemología centrada en el alumno frente a la concepción habitual del ciclo enseñanza/aprendizaje en Ciencias: reflexivo/cooperativo. En Rosado, L. y Cols. (Eds.), *Didáctica de la Física y sus Nuevas Tendencias (Manual de 2001)*, pp. 516-560. Madrid: UNED.

Rosado, L. y García Carmona, A. (2001). Diseño de un programa-guía de actividades en el estudio de la Estática de Fluidos para la ESO. En Rosado, L. y Cols. (Eds.), *Didáctica de la Física y sus Nuevas Tendencias (Manual de 2001)*, pp. 622-667. Madrid: UNED.

Rosado, L. y Herreros, J.R. (2004). *Internet y Multimedia en la Didáctica de la Física y materias afines* (2 volúmenes). Madrid: UNED.

Santos, M.A. (2002). Una flecha en la diana. La evaluación como aprendizaje. *Andalucía Educativa*, 34, pp. 7-9.

Sierra Bravo, R. (2001). *Técnicas de Investigación Social* (14ª ed.). Madrid: Paraninfo.

Weisbuch, C. (2001). La invención de los chips electrónicos. *Mundo Científico*, 220, pp. 14-16.

Zuñartu, L.M. (2003). Aprendizaje colaborativo: una nueva forma de Diálogo Interpersonal y en Red. *Contexto Educativo*, 28. En: <http://www.contexto-educativo.com.ar/>.

CAPÍTULO 6: PROCEDIMIENTO EMPÍRICO PARA LA APLICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA PROPUESTA DE ENSEÑANZA

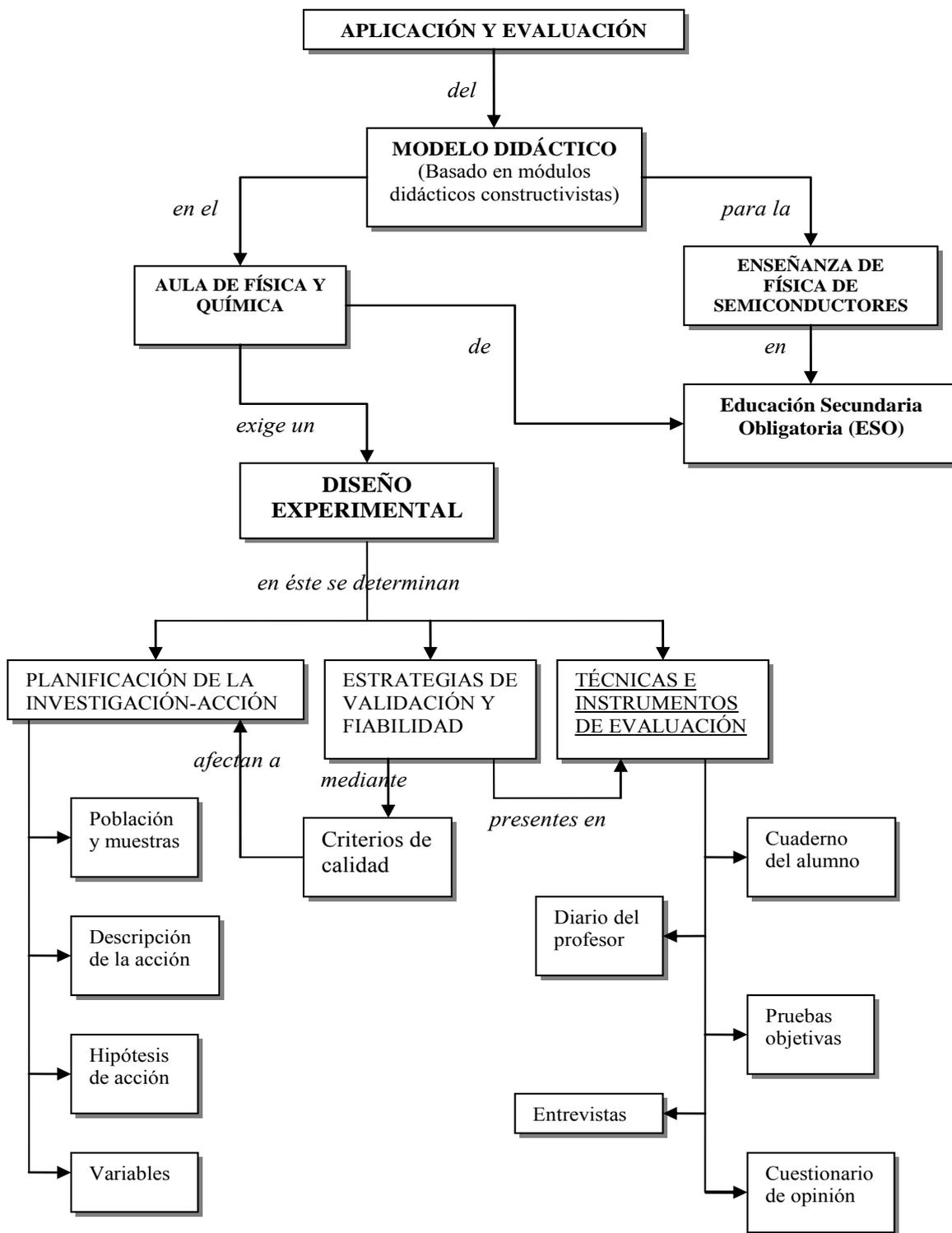
Resumen

Se describe el procedimiento empírico diseñado para la puesta en práctica y evaluación de los módulos didácticos de Física de Semiconductores. Se detallan los elementos que caracterizaron la Investigación-acción práctica realizada en el aula. En primer lugar, se describen las limitaciones con las que contó el doctorando para ejecutar la experiencia, las características de las muestras de alumnos investigados, el proceso de enseñanza/aprendizaje realizado (acción en el aula), las hipótesis de acción establecidas y las variables (independientes y dependientes) que fueron definidas en el estudio. A continuación, se especifican las estrategias y criterios –de credibilidad, de transferibilidad, de dependencia y de confirmabilidad– seguidos para la validación y fiabilidad de la investigación-acción, con el propósito de garantizar su calidad. Seguidamente, se indican las técnicas e instrumentos empleados en la evaluación del modelo didáctico (diario del profesor, cuaderno del alumno, pruebas objetivas, cuestionario de encuesta y entrevistas personales) y el modo en que fueron utilizados durante la experiencia. Asimismo, se describen las estrategias seguidas para garantizar la validez (de contenido y de constructo) y fiabilidad (estabilidad de resultados y consistencia interna) de estos instrumentos, y los inventarios de corrección y codificación de las respuestas emitidas por los alumnos –para el caso de las pruebas objetivas y entrevistas personales–, con vistas a hacer una evaluación de las mismas.

Esquema/Sumario

1. Introducción
2. Caracterización de la investigación-acción
 - 2.1. Muestras
 - 2.2. Acción en el aula: descripción del proceso de enseñanza/aprendizaje
 - 2.3. Definición de variables
 - 2.3.1. Variables independientes
 - 2.3.2. Variables dependientes
 - 2.3.3. Control de variables intervinientes o "extrañas"
3. Validación y fiabilidad de la investigación-acción
 - 3.1. Criterios establecidos para la calidad de la investigación-acción
4. Técnicas e instrumentos de evaluación
 - 4.1. Diario del profesor

- 4.2. Cuaderno o carpeta del alumno
- 4.3. Prueba objetiva sobre el estado de los conocimientos
 - 4.3.1. Estrategias de validación y fiabilidad de la pruebas objetiva
- 4.4. Cuestionario sobre el proceso de enseñanza/aprendizaje desarrollado
 - 4.4.1 Estrategias de validación y fiabilidad del cuestionario
- 4.5. Entrevistas personales
 - 4.5.1. Estrategias de validación y fiabilidad de las entrevistas personales
- 5. Referencias bibliográficas



1. Introducción

En el capítulo 4, nos planteamos una serie de interrogantes como punto de partida de una investigación orientada a introducir la enseñanza de nociones de Física de Semiconductores en el nivel de ESO. Asimismo, en el capítulo anterior hemos concretado el modelo didáctico (desarrollado en módulos didácticos constructivistas), que diseñamos para integrar las nociones de esta materia en el currículo de Física y Química, y formulamos las hipótesis de acción, en torno al modelo propuesto. Sin embargo, las hipótesis de acción sólo son soluciones prácticas imaginadas, que deben ser implementadas y evaluadas en el aula. En consecuencia, se hace necesario establecer qué procedimientos se van a llevar a cabo en la comprobación de las hipótesis de acción; esto constituye el diseño experimental.

Los elementos del diseño experimental vienen determinados por la metodología de investigación empleada. En nuestro caso, la experiencia se desarrolla en el marco de una investigación-acción práctica en el aula; de modo que el diseño experimental se circunscribe en las pautas establecidas para estudios basados en esta metodología de investigación.

En este capítulo describimos, con detalle, todos los elementos que compone el procedimiento experimental establecido para llevar a la práctica nuestra investigación-acción en el aula (muestras de alumnos, definición de variables, técnicas e instrumentos de evaluación, validación y fiabilidad de los datos e instrumentos empleados, procedimientos seguidos en la recogida, organización y análisis de los datos obtenidos, etc.).

2. Caracterización de la investigación-acción

A la vista de lo expuesto en el capítulo 3, sobre las características de una investigación-acción, nos propusimos realizar la experiencia en el marco de una *investigación-acción práctica*. Ésta concede un protagonismo activo y autónomo al profesor-investigador, siendo éste quien diseña, desarrolla y evalúa su propia investigación. Optamos por este tipo de estrategia de investigación a consecuencia de los recursos humanos de los que se disponía en el momento de iniciarla. Teniendo en cuenta esto, decidimos que los primeros pasos del proyecto debían desarrollarse mediante una investigación "modesta", que pudiera ser llevada a cabo por un solo profesor-investigador. Ello, con idea de obtener unos primeros resultados, que originasen investigaciones futuras de mayor envergadura sobre el tema. El esquema general del diseño de nuestra *investigación-acción práctica*, se muestra en la figura 6.1.

Dada la envergadura de la investigación-acción práctica que planteamos, cuya espiral de ciclos requiere de mucho más tiempo del que se dispuso en el momento de realizarla, en este capítulo sólo se describen los resultados correspondientes al primer ciclo de la misma. Además, como se trataba de una innovación didáctica, de la que no conocíamos precedente alguno, decidimos realizar el primer ciclo en dos ocasiones diferentes. De este modo, intentamos recopilar y analizar información suficiente, antes de pasar al segundo ciclo de la investigación-acción.

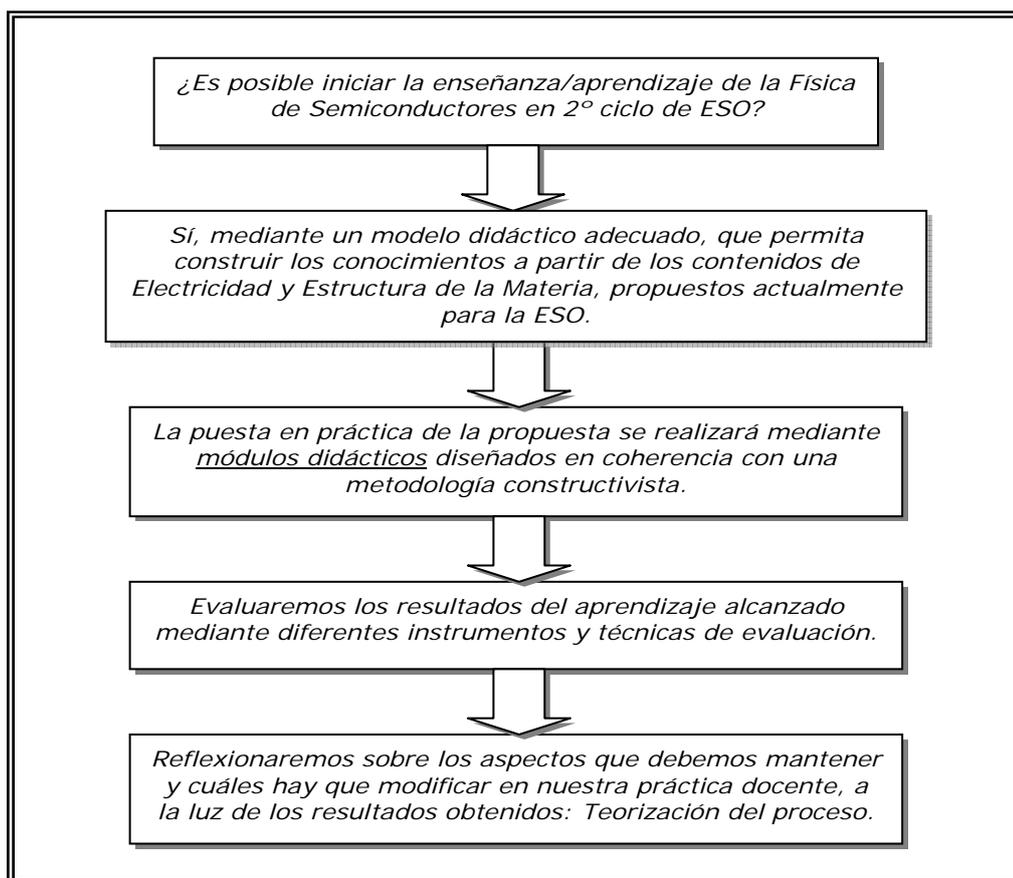


Figura 6.1 Ciclo de investigación-acción orientada a la introducción de nociones de Física de Semiconductores en la ESO.

2.1. Muestras

La puesta en práctica y evaluación del modelo didáctico propuesto – plasmado en módulos didácticos constructivistas– se llevó a cabo en dos ocasiones consecutivas, con alumnado de 3º de ESO (14-15 años). En el primer caso, participaron 27 alumnos, y en el segundo, con 33 alumnos, que cursaban la asignatura de Física y Química. Siguiendo las recomendaciones marcadas por las tendencias actuales en investigación-acción en Educación, no se realizó ningún proceso de selección y se optó por hacer la experiencia en un *espacio natural de la práctica docente*; esto es, participaron todos los alumnos a los que el profesor-investigador impartía docencia en su centro de trabajo. En sintonía con las ideas de Latorre (2003), ello tenía como propósito hacer una valoración profunda de la *práctica educativa* del profesor-investigador en relación con el tema de estudio. En consecuencia, se trató de un *muestra casual* o *accidental*, en el sentido de que los individuos de la muestra eran aquellos a los que se tenía acceso para llevar a cabo la experiencia. Dada la heterogeneidad del alumnado de la muestra, en relación con sus capacidades cognitivas y niveles socio-culturales, consideramos que era lo suficientemente representativa con vistas a obtener conclusiones significativas, que diesen lugar a una *teorización* fundamentada de la práctica realizada y, en

consecuencia, a futuras investigaciones en la línea de investigación planteada.

2.2. Acción en el aula: descripción del proceso de enseñanza/aprendizaje

Si bien la temporización programada para la aplicación completa de los módulos era de 15 sesiones, fue necesario ampliarla a unas 5 sesiones más (en total, unas 20 sesiones). Por este motivo, además de las clases de Física y Química, fueron empleadas 5 clases de la asignatura de Tecnología, la cual también era impartida por el mismo profesor.

Antes de la aplicación de los módulos, en las dos ocasiones fue necesario familiarizar al alumnado con la metodología de trabajo que se propone en el modelo. Estaban acostumbrados a recibir una enseñanza basada en la transmisión-recepción, y no a una metodología en la que ellos debían ser los principales protagonistas de su aprendizaje, por encima del profesor. Además, no estaban preparados para hacer una reflexión y autovaloración de su aprendizaje en el aula, y, menos aún, del conjunto de la clase. En consecuencia, fue necesario un entrenamiento previo. Con el estudio de otros contenidos de la asignatura se intentó que se acostumbraran a trabajar en grupo (como espacio de reflexión y discusión) y adquirieran una actitud investigadora, mediante el ejercicio reiterado de búsqueda de información, emisión de hipótesis y su comprobación, etc. Asimismo, como aspecto importante, aprendieron a realizar, en su cuaderno de clase, un comentario reflexivo y autocrítico de lo acontecido en cada actividad, a lo largo del proceso de enseñanza/aprendizaje: dificultades encontradas, antes y durante la realización, tanto propias como del resto de compañeros; valoración de su propio aprendizaje, expresando su evolución, desde que se enfrenta por primera vez a la actividad hasta que se realiza la puesta en común; etc.

Una vez que los alumnos se habían familiarizado con la metodología de trabajo requerida en el estudio de los módulos didácticos, se inició la experiencia. El profesor comenzaba explicando a los alumnos, en detalles, la finalidad del estudio de los diferentes módulos didácticos (interés de cada módulo, objetivos, contenidos, criterios de evaluación, material necesario, temporización,...), así como los instrumentos de evaluación, con idea de que conociesen cuáles debían ser sus metas de aprendizaje y cómo ello iba a ser valorado.

Durante la ejecución de las actividades se fomentó que los alumnos se dispusieran en pequeños grupos de 3 ó 4 alumnos, con idea de favorecer el *aprendizaje cooperativo*. En este sentido, el profesor facilitó la participación de todos, tanto dentro de los grupos como en el conjunto de la clase. Hay que tener presente que el trabajo cooperativo facilita la socialización de los alumnos, al obligarles a considerar las opiniones de los demás, forzando a la negociación de posiciones, e incluso a la renuncia o demora de los propios intereses en pro de un objetivo común. Asimismo, aunque el aprendizaje es un proceso, en último término, individual, se considera que debe ser socialmente construido e influido por las circunstancias en las que opera el individuo. De ahí que concibiésemos el aprendizaje como una construcción personal, que se realiza en un contexto interpersonal.

Durante el desarrollo de los módulos didácticos, el profesor dirigió la ejecución de cada actividad, incorporando aquellos elementos necesarios que favorecían el proceso de aprendizaje. De modo que, cuando los alumnos exponían sus conclusiones al resto de la clase, durante la puesta en común, el profesor introducía las orientaciones oportunas sobre el contenido de cada actividad, y encauzaba la discusión mediante las puntualizaciones necesarias, con el propósito de alcanzar un consenso en las conclusiones. La puesta en común, además de contrastar las ideas de los alumnos, permitió al profesor hacer una evaluación global del proceso de enseñanza/aprendizaje desarrollado.

2.3. Definición de variables

La dificultad de una investigación educativa viene condicionada, normalmente, por el tipo de variables que el investigador desee manejar. En el caso de la investigación en Didáctica de las Ciencias, existe un predominio de *variables cualitativas*, las cuales, a diferencia de las *cuantitativas*¹⁸, no toman valores numéricos sino cualidades o atributos; por ejemplo, "el interés de los alumnos por la Física" o "la capacidad de razonamiento". Asimismo, dentro de las variables cualitativas se diferencian dos tipos: *variables nominales* (por ejemplo, el "sexo" del estudiante), y *variables ordinales* (por ejemplo, el "nivel de aprendizaje" alcanzado).

Cuando las variables cualitativas son sometidas a un análisis estadístico, es preciso codificar sus atributos. No hay que olvidar que la Estadística es una herramienta matemática diseñada para manejar datos numéricos. En este sentido, por ejemplo, las categorías de la *variable cualitativa ordinal* "capacidad de razonamiento en Física", pueden codificarse como: muy baja (1), baja (2), media (3), alta (4) y muy alta (5). Las *variables cualitativas nominales, no ordinales*, también hay que codificarlas. En este caso, al no existir una jerarquía de las cualidades, la asignación numérica se hace a libre elección del investigador. Por ejemplo, la variable "metodología de enseñanza/aprendizaje", se podría codificar como: Tradicional (1), Constructivista (2).

Además de tener los criterios anteriores en la definición de variables, a la hora de planificar una investigación educativa, el investigador debe definir qué variables va a controlar durante la experiencia (*variables independientes*) y sobre qué aspectos (*variables dependientes*) va a medir sus efectos.

También es necesario controlar el mayor número de variables en la investigación, a fin de evitar –o atenuar en su defecto– la influencia de elementos no deseados en los resultados. El aula es un sistema complejo en el que influyen multitud de factores, tanto internos como externos, que condicionan su dinámica. Cuando los factores son ajenos al experimento planificado, se denominan *variables "extrañas" o intervinientes*. Por tanto, con objeto de impedir la influencia de estas variables en los resultados, el investigador ha de ser cuidadoso y ejercer un control sobre éstas; bien manteniéndolas constantes, o bien, convirtiéndolas en variables

¹⁸ Un ejemplo de variable cualitativa, en educación, es la calificación numérica obtenida por los alumnos en un cuestionario de respuesta única (tipo test), donde sólo hay que señalar la respuesta correcta.

independientes. Por ejemplo, cuando se estudia el nivel de aprendizaje alcanzado (variable dependiente) según la metodología empleada [tradicional o constructivista] (variable independiente), una variable interviniente es el profesor instructor de cada metodología. En efecto, aun cuando la metodología constructivista ofrece buenas perspectivas, en aras del aprendizaje de los alumnos, es posible que el profesor no la desarrolle convenientemente y obtenga peores resultados que el que emplea la metodología tradicional. En este caso, la influencia de la variable "profesor" se podrá evitar si es el mismo docente –experimentado en sendas metodologías– quien aplica las dos metodologías a los alumnos. Otra opción es considerar al "profesor" como otra variable independiente en el estudio, definiendo como categorías de la misma, por ejemplo, los años de experiencia docente (poca, media, mucha).

A la vista de lo anterior, en lo que sigue describimos las variables dependientes e independientes, definidas con el fin de contrastar la consistencia de las *hipótesis de acción*, establecidas en relación con el modelo didáctico propuesto. También describimos cómo se llevó a cabo el control de variables "extrañas" o internivientes durante la investigación.

2.3.1. Variables independientes

En el análisis del proceso de enseñanza/aprendizaje desarrollado en el aula (metodología, participación, dificultades de aprendizaje, procedimientos y actitudes desarrollados por los alumnos, etc.), se estudió la influencia de la variable independiente siguiente:

- Actividades, con metodología constructivista, propuestas en los módulos didácticos

En relación con el *nivel de conocimientos científicos adquirido* por los alumnos sobre Física de Semiconductores, se analizó la influencia de la variable:

- Actividades propuestas en las pruebas escritas
- Preguntas planteadas en las entrevistas personales (Primera parte)

Con respecto a la *apreciación global del proceso educativo desarrollado*, con el estudio de los módulos, se analiza la influencia de las variables siguientes:

- Preguntas planteadas en las entrevistas personales (Segunda parte)
- Ítems del cuestionario de encuesta

Finalmente, con idea de conocer si existe o no *estabilidad* en los resultados, como elemento de fiabilidad de los instrumentos de evaluación utilizados, se examina la influencia de la variable dicotómica:

- Ocasión de la aplicación del modelo didáctico.

2.3.2. Variables dependientes

Teniendo en cuenta las conjeturas expuestas en las hipótesis de acción, relativas a la eficacia didáctica de los módulos propuestos, se analizó el efecto de las variables definidas antes, sobre las variables dependientes que se detallan a continuación.

- Aprendizaje global alcanzado por los alumnos en cada actividad. La variable será medida a través del *cuaderno del alumno*. Las categorías de esta variable son:
 - *Nivel I*: Aún después de la puesta en común, sigue sin comprender el contenido de la actividad.
 - *Nivel II*: Después de la puesta en común, comprende el contenido de la actividad.
 - *Nivel III*: Antes de la puesta en común, ya contestó correctamente a la actividad.
- Apreciación global del proceso educativo desarrollado con los módulos. Será medida a través de un *cuestionario de encuesta* y de una *entrevista personal* al alumnado.
 - ✓ *Cuestionario de encuesta*. La variable se desglosará en las siguientes categorías:
 - Intencionalidad del proceso de enseñanza/aprendizaje.
 - Planificación del proceso de enseñanza/aprendizaje.
 - Clima de clase durante el proceso de enseñanza/aprendizaje.
 - Rendimiento escolar obtenido.
 - Evaluación de los elementos intervinientes en el proceso de enseñanza/aprendizaje.
 - Estimación global del proceso de enseñanza/aprendizaje.

Cada categoría contendrá diferentes declaraciones, que serán valoradas por el alumnado mediante una escala Likert de 5 posibilidades: (1) *Nada de acuerdo*, (2) *Poco de acuerdo*, (3) *Medianamente de acuerdo*, (4) *Bastante de acuerdo* y (5) *Totalmente de acuerdo*.
 - ✓ *Entrevista personal*. En este caso, los indicadores de la variable serán:
 - Valoración del diseño de los módulos y de la metodología de trabajo empleada en el estudio de estos. Las categorías serán:
 - 1) Respuestas de desconocimiento: *no sé, no me acuerdo, no contesta,...*
 - 2) Respuestas vacías de significado.
 - 3) Respuestas interesantes y fundamentadas, que dan idea de la percepción global del alumno/a sobre el proceso educativo desarrollado.
 - Comparación de la metodología de trabajo empleada con la metodología tradicional (enseñanza por transmisión y uso de libros de texto habituales). Las categorías serán:
 - 1) Respuestas de desconocimiento: *no sé, no me acuerdo, no contesta,...*
 - 2) Respuestas vacías de significado.
 - 3) Respuestas interesantes y fundamentadas sobre la opinión del alumno/a.
- Grado de conocimiento científico alcanzado por los alumnos (medido con las *pruebas objetivas* y *entrevistas personales*), sobre nociones elementales de Física de Semiconductores, será analizado del siguiente modo:

- ✓ *Pruebas objetivas.* Se analizarán los niveles de conocimientos, sobre Física de Semiconductores, adquiridos por los alumnos después del estudio de cada módulo. Las categorías de esta variable son:
 - *Nivel 1:* Respuesta en blanco.
 - *Nivel 2:* Respuesta errónea o confusa, en el sentido de que no comprende o no aplica adecuadamente los conceptos manejados.
 - *Nivel 3:* Respuesta correcta pero no se justifica –en el caso de respuestas de opción múltiple–, o bien se hace de manera imprecisa o incompleta.
 - *Nivel 4:* Respuesta correcta y justificada adecuadamente.
- ✓ *Entrevistas personales.* Se realizarán una vez concluida la aplicación de todos los módulos didácticos.

2.3.3. Control de variables “extrañas” o intervinientes

Aun cuando el número de alumnos, en cada aplicación del modelo didáctico, no era posible controlarlo, puesto que se trataba de grupos naturales de alumnos (eran los que en cada ocasión componían la clase de 3º de ESO, en el centro donde se realizó la investigación), se trató de mantener constantes (con igual influencia para ambos) ciertos factores (*variables intervinientes o “extrañas”*) que pudieran influir de manera diferenciada en los resultados de cada uno de los estudios de caso. Para ello, fueron instruidos del mismo modo –con las mismas actividades, durante, aproximadamente, el mismo número de sesiones y con la misma metodología– por parte del mismo profesor-investigador. Además, al iniciar el proceso, los dos grupos tenían la misma formación previa –también proporcionada por el mismo profesor-investigador– en cuanto a contenidos y en cuanto al entrenamiento necesario para trabajar los módulos didácticos según la metodología prevista. De este modo, la atención se centró, exclusivamente, en el control de las variables definidas con anterioridad.

3. Validación y fiabilidad de la investigación-acción

Algunos autores, como Padilla (2002), aconsejan –siempre que sea posible– hacer un estudio piloto o preliminar, con la versión inicial del modelo o instrumento educativo elaborado. Y que cuanto más completo y complejo sea el estudio piloto, mejor depurado estará el instrumento o modelo propuesto para la aplicación definitiva. Porque, como indica García Ferrando (1986, cit. en Padilla, 2002: 135), *“se aprende a construir estos instrumentos con la experiencia, sobre todo «con la cosecha de fracasos»”*.

El estudio de la temática que proponemos –la Física de Semiconductores– es nueva en el nivel de ESO. Por tanto, estimamos oportuno llevar a cabo una experiencia previa o preliminar, con la intención de conocer el impacto del modelo didáctico (nivel de contenidos, módulos, actividades, metodología, proceso de evaluación, etc.) en el aula; y, en consecuencia, detectar posibles deficiencias del mismo. Ello se realizó mediante una aplicación parcial de los módulos didácticos, con un grupo de 3º de ESO. Estos alumnos contaban con la misma formación previa que los que después intervendrían en las dos ocasiones en las que se aplicaron completamente los módulos. Aun cuando no se aplicaron todos los módulos diseñados, la experiencia preliminar nos permitió obtener resultados

importantes con vistas a reconsiderar y depurar algunos de los aspectos del modelo (actividades de los módulos, cuestiones de las pruebas objetivas, metodología,...), y mejorar así su eficacia didáctica en aplicaciones sucesivas. Muchas de las conclusiones obtenidas en esa experiencia han sido incluidas, como sugerencias importantes, en los "comentarios" que acompañan a las actividades de los módulos didácticos descritos en el capítulo anterior. Por consiguiente, la experiencia previa o preliminar supuso uno de los procesos más significativos de validación y fiabilidad del modelo didáctico que diseñamos.

A continuación se describen otros criterios que fueron tenidos en cuenta con el propósito de obtener la calidad necesaria de la Investigación-acción realizada.

3.1. Criterios establecidos para la calidad de la investigación-acción diseñada

A fin de garantizar la *credibilidad* (correspondencia entre los datos recogidos por el profesor-investigador y la realidad del aula) de los dos estudios de caso, seguimos las siguientes estrategias:

1) *Observación persistente*. La puesta en práctica completa del modelo didáctico requirió de unas 20 sesiones de clase, de una hora cada una. Asimismo, la misma experiencia se realizó en dos ocasiones diferentes, con alumnos de 3º de ESO. Esto permitió comprobar los problemas reales de enseñanza/aprendizaje, derivados de la puesta en práctica del modelo didáctico, y los prejuicios propios y de los alumnos sobre el tema. Igualmente, propició concretar el contenido y la estructura de la prueba objetiva y de las entrevistas individuales, con vistas a obtener una información fidedigna, tanto de la eficacia del proceso de enseñanza/aprendizaje desarrollado como de los conocimientos adquiridos por los alumnos. Además, para ello se siguieron las recomendaciones expuestas en manuales y trabajos especializados sobre estos aspectos y se tomaron de referencia otros cuestionarios y pruebas objetivas, cuya validez y fiabilidad han sido contrastadas favorablemente. Se profundiza sobre ello cuando hagamos referencia al proceso de validación y fiabilidad de las diferentes técnicas e instrumentos de evaluación empleados en la investigación.

2) *Triangulación*. Con el propósito de comparar y contrastar la información del proceso de enseñanza/aprendizaje –desde distintas perspectivas–, se pidió a los alumnos que escribieran un comentario reflexivo en su cuaderno, después de cada actividad¹⁹. En estos, cada alumno recogía su impresión y valoración, tanto de su propio aprendizaje como de lo acontecido en el aula durante la puesta en común. Lo cual permitió comparar las impresiones de los alumnos con las nuestras. Todo ello se describe, en detalles, más adelante.

3) *Comprobaciones con los participantes*. Como hemos comentado en la descripción de la acción desarrollada en el aula, con objeto de evitar

¹⁹En Educación, se plantea la posibilidad de una *triangulación* en la que sólo intervengan el profesor y su alumnado (Fernández *et al*, 2002), cada uno con su respectivo instrumento de registro de observación (diario y cuaderno de clase, respectivamente).

errores, y conseguir la información deseada, previamente familiarizamos al alumnado con la metodología de trabajo que se propone en el estudio de los módulos didácticos diseñados para la investigación.

Conforme con las características propias de una investigación-acción educativa, la *transferibilidad* de los resultados de los estudios de caso no se debe asumir como un corolario que es aplicable, literalmente, a otras situaciones educativas. Ha de considerarse como fuente de reflexión y orientación a otros profesores en situaciones similares de su praxis docente. Con este propósito, se hace una descripción extensa y exhaustiva de la experiencia en el siguiente capítulo, a fin de establecer correspondencias con otros contextos educativos. Asimismo, la experiencia se desarrolló en un *espacio educativo natural* (no se realiza ningún proceso de muestreo), donde el alumnado presentaba una notable diversidad en sus características cognitivas, sociales y culturales, que bien puede representar a otros contextos educativos. Con lo cual, se tienen garantías suficientes de la aplicabilidad de la experiencia (no de los resultados concretos obtenidos) en escenarios educativos similares. No obstante, conviene matizar que la transferibilidad de una investigación-acción a otros contextos y situaciones educativas, será valorada en la medida en que se detecta lo que es común y lo que es específico de cada una.

Con idea de lograr la estabilidad de los datos (*criterio de dependencia*), se establecieron los medios oportunos que permitieran obtener resultados semejantes (no idénticos) en dos ocasiones diferentes. Este hecho se confirmó con los datos obtenidos, que constatan que el nivel de comprensión y las dificultades de aprendizaje son similares en ambos estudios de caso (se analiza en el siguiente capítulo). Para ello, las estrategias que empleamos son:

1) Un único profesor es quien aplica toda la experiencia con la misma metodología didáctica (constructivista) y organizativa.

2) La misma investigación se lleva a cabo con dos grupos de alumnos de 3º de ESO, en dos cursos académicos diferentes, pero consecutivos.

3) Se aplican *métodos solapados*, empleando varios métodos y procedimientos en la recogida de información, con el fin de tener diferentes perspectivas en el análisis de los datos (triangulación). En ambas aplicaciones se emplearon los mismos instrumentos en la recogida de información: el diario del profesor-investigador, el cuaderno del alumno, prueba objetiva de lápiz y papel, cuestionario de encuesta y entrevistas personales (grabadas en audio).

Con objeto de comprobar si los resultados de la experiencia estaban o no sesgados por motivaciones, intereses o perspectivas del profesor-investigador (*criterio de confirmabilidad*²⁰), se emplearon los siguientes elementos de validación:

1) *Auditoría de confirmabilidad*. Un 'amigo crítico', que no intervino en la puesta en práctica del modelo didáctico en el aula, revisó la correspondencia entre los datos y las interpretaciones y conclusiones obtenidas por el profesor-investigador.

²⁰Recordemos que este criterio se corresponde con el criterio tradicional de objetividad.

2) Con el fin de llevar a cabo lo anterior, se utilizaron *descriptores de baja inferencia*. Consistió en registrar los datos del estudio de la forma más precisa posible (aspecto importante cuando se investiga las respuestas de los alumnos ante cuestiones de respuesta abierta, o de respuesta con opción múltiple en las que se da una justificación en la elección) mediante su transcripción textual. En los resultados, que se describen en el siguiente capítulo, exponemos numerosos ejemplos de comentarios y reflexiones de los alumnos –reflejados en sus cuadernos– sobre el proceso de enseñanza/aprendizaje; de respuestas de los alumnos a las cuestiones de la prueba objetiva y a las entrevistas personales; etc.

3) *Ejercicios de reflexión* sobre el diseño y la puesta en práctica de la acción proyectada. Fruto de una intensa y exhaustiva revisión bibliográfica sobre el diseño de una investigación-acción en educación, y del estudio de resultados obtenidos por otros investigadores, hemos establecido las directrices de la investigación-acción descrita; lo cual consideramos que es un aval importante de la credibilidad de la experiencia.

4. Técnicas e instrumentos de evaluación

Que el proceso de la recogida de datos sea riguroso y sistemático, no significa que esté exento de subjetivismo e imprecisión, ya que no existe sistema de medición/valoración totalmente válido y fiable. La propia decisión de qué datos se intentan recabar y la finalidad a la que se destinan los resultados, implica cierta subjetividad. En consecuencia, se debe asumir las limitaciones en el proceso de recogida de datos y evitar posturas rígidas. Desde esta perspectiva, la evaluación de los módulos didácticos consiste en la valoración conjunta (profesor y alumnado) de datos, principalmente cualitativos, referidos al proceso de enseñanza/aprendizaje desarrollado, que deben ser adquiridos con técnicas e instrumentos variados, a fin de analizarlos con la mayor objetividad posible. El análisis de esta información permitirá reformular los objetivos didácticos, así como introducir las modificaciones oportunas tanto en las actividades como en la metodología empleada.

Es preciso indicar, también, que las técnicas e instrumentos de evaluación a utilizar, en cada momento del proceso de enseñanza/aprendizaje, deben ser variados por dos razones, principalmente (Giné y Parcerisa, 2000): la primera, por las limitaciones que presentan las mismas técnicas e instrumentos; y la segunda, porque han de servir para evaluar contenidos conceptuales, procedimentales y actitudinales. Respecto a esto, Castillo y Cabrerizo (2003) terminan diciendo:

De las técnicas e instrumentos existentes, unos serán más adecuados para evaluar conceptos, en tanto que otros lo serán para evaluar procedimientos o para evaluar actitudes; razón por la que deberán utilizarse técnicas muy variadas en función de su idoneidad.

Por todo ello, la recogida de información, para realizar la evaluación de los módulos didácticos, se llevó a cabo mediante diferentes técnicas e instrumentos de evaluación, que se detallan en lo que sigue.

4.1. Diario del profesor-investigador

Se trata de un instrumento observacional y documental para describir y evaluar el proceso de enseñanza/aprendizaje. Siguiendo las recomendaciones de Kemmis y McTaggart (1988; cit. en Cañal *et al*, 1997: 190), su elaboración consistió en recopilar, a modo de memoria, lo observado en el aula después de cada sesión. Se contemplaron observaciones, sentimientos, reacciones, interpretaciones, reflexiones, presentimientos, explicaciones,...; esto es, todo lo relevante que acontecía en el aula durante el proceso educativo. En consonancia con lo que establecen Porlán y Martín (1993), su utilización sirvió de guía para la reflexión de la práctica docente, propiciando la toma de conciencia de los problemas de enseñanza/aprendizaje surgidos en el aula, con vistas a adoptar las decisiones de mejora en acciones sucesivas. Gran parte de los comentarios expuestos en las actividades de los módulos didácticos (capítulo 5), proceden de las observaciones y reflexiones escritas en el diario durante la experiencia preliminar. Principalmente, en el diario del profesor se recogió información sobre los siguientes aspectos:

- a) La puesta en acción del módulo.
- b) El tiempo previsto y dedicado a cada actividad.
- c) Las situaciones imprevistas incorporadas.
- d) Las ideas previas de los alumnos y alumnas: extensión, obstáculos, modificación, etc.
- e) La actitud de los alumnos y alumnas.
- f) El interés que han mostrado.
- g) Las gratificaciones del profesor o decepciones recibidas.
- h) Las dificultades manipulativas.
- i) La idoneidad de cada aspecto diseñado; alternativas posibles.

En el cuadro 6.1 exponemos un fragmento del diario del profesor-investigador, referido a una de las sesiones de aplicación de los módulos didácticos.

SESIÓN 3 / 1ª APLICACIÓN DEL MODELO DIDÁCTICO

Fecha: 13 de mayo de 2003 **Hora:** 12.00

Curso: 3º de ESO

Asignatura: Física y Química

Nº de alumnos/as: 27 (faltan 3 alumnos a clase)

Módulo I: Los materiales semiconductores en el desarrollo de la Electrónica

En esta sesión –una más de las previstas inicialmente para el módulo– se hace la puesta en común de las actividades 2 y 3 del módulo, durante la primera hora de clase. Después de todas las aclaraciones hechas en las dos sesiones anteriores, las dudas y preguntas de los alumnos son algo menores que en la primera actividad del módulo.

En relación con la actividad 2, no se observa uniformidad en las contestaciones de los alumnos a la primera cuestión (¿A qué se debe la continua reducción de tamaño, y el consecuente aumento de prestaciones, de los teléfonos móviles?) Se observan distintos enfoques de respuesta y distintos niveles de profundización, en función de los libros o páginas Webs consultadas por los alumnos. La segunda cuestión de la actividad no plantea dificultades a los alumnos; todos identifican la ley de Moore con la reducción, prácticamente a la mitad, de los dispositivos electrónicos cada dos años.

En cuanto a la actividad 3, el nivel de consenso es mayor y las respuestas de los alumnos son prácticamente iguales (todos hacen una búsqueda de la palabra 'Chip' en páginas Webs y enciclopedias similares). Al hablar de Chip en la puesta en común, se vuelve a mencionar el concepto de Circuito Integrado. Al respecto, un grupo de alumnos sigue sin tener una idea elemental de lo que es un Circuito Integrado. Además, manifiestan estar agobiados por el estudio del módulo, el cual les resulta complejo por los conceptos que se manejan. En un intento de motivarlos y aumentarles el autoestima, les indico –recordándoles los objetivos del módulo– que no se intenta que comprendan todos los conceptos, sino que "les suenen"; que, al menos, los conciban como elementos pertenecientes al ámbito de la Electrónica. Y, sobre todo, que reconozcan la importancia de los materiales semiconductores en el desarrollo de la Electrónica; esto es, un aumento continuo de las prestaciones de los dispositivos electrónicos, acompañado de una continua reducción de tamaño. Después de esto, parece que quedaron más tranquilos, incluso uno de ellos dijo: "ah, bueno, si es eso lo que hay que saber, yo sí lo entiendo."

[...] En suma, la apreciación de las dificultades de aprendizaje encontradas por los alumnos en las actividades 2 y 3, son las siguientes:

Actividad 2:

Dificultad de comprensión del enunciado: Media

Dificultad de comprensión y manipulación de los conceptos intervinientes: Alta

Dificultad de exposición de las conclusiones: Alta

Grado de uniformidad en las respuestas: Bajo

Actividad 3:

Dificultad de comprensión del enunciado: Baja

Dificultad de comprensión y manipulación de los conceptos intervinientes: Alta

Dificultad de exposición de las conclusiones: Media

Grado de uniformidad en las respuestas: Alto

Aun cuando los alumnos, en su mayoría, han encontrado dificultad en algunas de las palabras manejadas en el módulo, podemos decir que, en general, se han logrado las expectativas planteadas desde un principio: Que el alumnado tome conciencia del importante papel de los materiales semiconductores en el desarrollo de la Electrónica (no tanto de si comprenden los conceptos, como el hecho de que conozcan la existencia de ciertos materiales –los semiconductores–, que hacen posible la existencia de los numerosos aparatos electrónicos existentes en su entorno cotidiano). Asimismo, se trataba de que los alumnos se afianzaran en una nueva metodología de trabajo para ellos –si bien ya la habían experimentado en temas precedentes como entrenamiento–. Por el carácter introductorio y de justificación del módulo, se trataba de que adquiriesen una actitud y predisposición favorables hacia el estudio de nociones de Física de Semiconductores.

Al finalizar la clase, se indicó a los alumnos que para el próximo día debían entregar al profesor sus cuadernos o carpetas de trabajo, con las tres actividades del módulo debidamente realizadas (tal como se les indicó con la octavilla de instrucciones). Se les entrega fotocopias del segundo módulo (módulo de preparación previa: "Estructura atómica y naturaleza eléctrica de la materia"), con objeto de que puedan hojearlo y tenerlo todo listo al principio de la próxima clase.

Cuadro 6.1 Fragmento del diario del profesor en la primera aplicación del modelo didáctico.

4.2. Cuaderno del alumno

A través de la información recogida en los cuadernos o carpetas de trabajo de los alumnos, se analizaron las dificultades de aprendizaje y el progreso detectado durante el proceso de intervención educativa. Más que valorar el grado de asimilación de los conceptos científicos introducidos – que también se hizo, pero en menor medida que con las pruebas objetivas

de conocimientos–, se prestó especial atención al modo en que evolucionaba el aprendizaje del alumnado. Es decir, es el instrumento que permitió hacer la valoración, principalmente, de los *procedimientos* y *actitudes* desarrollados por los alumnos; y, sobre todo, observar la *eficiencia* de la metodología de trabajo empleada en el aula. Para ello, en cada actividad, los alumnos indicaron las correcciones hechas sobre su respuesta inicial, una vez efectuada la puesta en común. Aun cuando fuera equivocada su primera respuesta, no se eliminaba del cuaderno, con el propósito de contrastarla con la respuesta final corregida. Escribieron un pequeño comentario, a modo de reflexión, sobre lo acontecido en el desarrollo de la actividad, utilizando argumentos como: “al principio pensaba que la respuesta era...”, “mientras intervenía mi compañero, me di cuenta que...”, “el error que cometió el compañero que intervino fue...”, “la dificultad/confusión más extendida entre mis compañeros ha sido...”, “después de la puesta en común he comprendido que...”, “después de la discusión en clase, sigo sin comprender...”, “la ayuda y discusión con mis compañeros me ayudaron a...”, etcétera.

En lo que sigue, mostramos, como ejemplos, dos extractos de comentarios escritos por los alumnos en sus cuadernos, sobre las actividades de los módulos didácticos.

« [...] Yo creí que mi respuesta era correcta hasta que mis compañeros empezaron a decir las suyas. Mi fallo fue que conté todas las partículas y sólo hay que contar las de la “casetilla” que representa al semiconductor. [...] Teresa también dijo su respuesta, pero estaba al revés del todo, y dos personas más lo tenían igual que ella. Como yo la tenía inicialmente, la tenían tres compañeros más. Se recordó que a la hora de moverse cargas por un material, sólo lo hacen los electrones; por eso sólo van electrones por los cables externos al semiconductor. » [Javi]

« [...] Hay varias personas que no han hecho esta actividad. La corrigió Carlos, quien dijo que compartían 2 electrones con cada uno. Luego, María salió a dibujarlo en la pizarra e hizo el siguiente dibujo: [...]; pero no está bien porque los semimetales se enlazan por pares (uno con cada átomo próximo). La respuesta correcta es la que teníamos en nuestro grupo: [...]. Al corregir esta actividad se produjo un debate sobre la palabra “compartir”, ya que no sólo se considera como tal uno de los dos electrones que forman un enlace, sino que al compartir ambos electrones, pasan a formar parte de los dos (siempre se comparten electrones). El apartado b) lo hicimos al entender la explicación del apartado a). Todo el mundo parece que lo tenía claro. Yo creo que lo entiendo bastante bien. » [Cristina]

Como hemos explicado, a través de estos comentarios analizamos el progreso y las dificultades de aprendizaje desde la perspectiva del alumnado (*autorregulación*). Las reflexiones escritas por los alumnos, después de hacer las puestas en común, nos permitió catalogar sus aprendizajes en diferentes niveles de aprendizaje. Esto es: *Nivel I* (manifiesta que sigue sin comprender la actividad, después de la puesta en común); *Nivel II* (corrige sus errores iniciales y dice comprender la actividad una vez hecha la puesta en común); y *Nivel III* (indica que comprende bien la actividad desde el principio y no ha necesitado corrección después de la puesta en común). En el siguiente capítulo exponemos los niveles de aprendizaje alcanzados por los alumnos, en cada una de las actividades de los diferentes módulos didácticos. Y como estrategia de validación,

transcribimos algunos fragmentos, con el fin de constatar la *credibilidad* y *confirmabilidad*, de los datos proporcionados por los alumnos.

4.3. Prueba objetiva sobre el estado de los conocimientos

Al concluir el proceso de enseñanza/aprendizaje con los módulos, los alumnos hicieron una prueba objetiva de lápiz y papel (Anexo I), con el fin de valorar el nivel de conocimientos declarativos y procedimentales alcanzados, según los objetivos previstos.

En el diseño la prueba se descartaron las preguntas dicotómicas (verdadero-falso, emparejamientos, etc.), porque no permiten hacer explícitos los esquemas mentales de los alumnos. A fin de obtener el mayor grado de objetividad posible (criterio de credibilidad), la mayoría de las preguntas de la prueba consistieron en cuestiones con respuestas cerradas de opción múltiple, donde el alumnado debía elegir la respuesta correcta.

Puesto que con la prueba objetiva intentamos obtener información de las ideas y esquemas de razonamiento del alumnado, en cada cuestión de respuesta con opción múltiple, además de elegir la respuesta correcta, el alumno debía dar una justificación de la misma.

También se utilizaron cuestiones de respuesta abierta; esto es, sin ofrecer ningún tipo de opción. Con ellas se pretendía profundizar más aún en los esquemas conceptuales y estrategias procedimentales, utilizadas por los alumnos en las explicaciones de fenómenos relacionados con la Física de Semiconductores. La importancia de este tipo de cuestiones radica en que el alumno, de forma autónoma, es quien acota la respuesta –a diferencia de lo que ocurre en las cuestiones cerradas con respuesta de opción múltiple– y posteriormente da su justificación; lo cual, aporta una información aún más rica del conocimiento del alumno (Perales, 1993). Como contrapartida, las cuestiones de respuesta abierta presentan un menor grado de objetividad que las cuestiones de respuesta cerrada con opción múltiple, dado que es más difícil categorizar las ideas y esquemas de los alumnos, debido a la variedad de respuestas que se encuentran.

La codificación de las respuestas de los alumnos no es tarea fácil, sea cual sea el tipo de cuestión planteada. Aún así es posible realizarla, de forma bastante fiable, mediante un inventario de criterios de corrección y clasificación en diferentes niveles o categorías. Se establecieron, para ello, cuatro niveles²¹ de conocimiento:

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

Los inventarios que contienen los criterios de corrección y categorización de las respuestas de la prueba objetiva se muestran en el Anexo II. En la

²¹Padilla (2002) aconseja no diferenciar demasiados niveles o categorías de respuestas, puesto que ello resta fiabilidad al instrumento de evaluación.

tabla 6.1 se muestran los conceptos y/o procedimientos implicados en cada una de las cuestiones de la prueba elaborada.

Nº de cuestión	Concepto, fenómeno y/o procedimiento científico implicados
1	– Reconocimiento de un material semiconductor a partir de la configuración electrónica de sus átomos.
2	– Explicación del comportamiento eléctrico de un semiconductor intrínseco a altas temperaturas a partir del modelo del enlace covalente.
3	– Explicación del carácter eléctrico de un hueco, en el contexto del modelo del enlace covalente de un material semiconductor.
4	– Explicación de la generación y recombinación de pares electrón-hueco en un semiconductor intrínseco a partir del concepto de energía de ionización y en el marco del modelo del enlace covalente.
5	– Explicación de la generación de un electrón libre en un semiconductor, mediante el dopado con una impureza donadora.
6	– Denominación 'tipo p ' de los semiconductores dopados con impurezas aceptoras. – Explicación del comportamiento eléctrico de un semiconductor dopado con impurezas aceptoras (semiconductor tipo p).
7	– Balance de portadores de carga en un semiconductor tipo n y su explicación a partir del efecto producido por impurezas donadoras.
8	– Explicación del estado eléctrico de un semiconductor tipo n . – Distinción entre huecos y protones en un semiconductor.

Tabla 6.1.- Contenidos de la prueba objetiva de lápiz y papel sobre nociones de física de semiconductores.

4.3.1. Estrategias de validación y fiabilidad de las prueba objetiva

La *fiabilidad* es un indicador de la consistencia o estabilidad de una prueba. En ocasiones, la falta de fiabilidad en las pruebas objetivas viene motivada por el hecho de primar el pensamiento convergente; es decir, cuando se espera que todos los alumnos lleguen a la misma solución. Desde esta perspectiva, los alumnos pueden llegar a una respuesta acertada mediante estrategias poco adecuadas; o bien, llegar a conclusiones equivocadas con estrategias correctas (por ejemplo, omisiones que condicionan la solución). Por este motivo, es preciso mostrar una atención especial a la fiabilidad de la prueba objetiva diseñada.

En el caso que nos ocupa, dado que la prueba fue aplicada en dos ocasiones diferentes por un mismo profesor-investigador, nos centramos en medir la *fiabilidad intraobservador* (Padilla, 2002). Ésta hace referencia a la concordancia de los datos obtenidos por un mismo observador, en dos momentos diferentes, con los mismos individuos o muestras de individuos similares²². No obstante, es preciso indicar que, a causa de la complejidad de la investigación educativa, no es posible reproducir de forma idéntica los resultados en dos ocasiones; pero sí debe haber cierta estabilidad y consistencia en los mismos.

Con el fin de comprobar la fiabilidad de la prueba, empleamos dos procedimientos. Por un lado, mediante la aplicación de su aplicación en dos

²²Nos referimos a muestras que, como resultado de un análisis estadístico, pertenecen a una misma población.

ocasiones, comprobamos la *estabilidad* de los resultados (criterio de dependencia)²³; y, por otro, medimos su *consistencia interna*.

El análisis de la estabilidad de los resultados de la prueba se hizo mediante el estadístico de contraste U de Mann-Whitney. La idea era comprobar si existían o no diferencias significativas en las respuestas de los alumnos (variables dependientes), según la ocasión (1ª y 2ª aplicación) en la que fue aplicada la prueba (variable independiente). Los detalles y resultados de este análisis se describen en el siguiente capítulo.

En cuanto a la consistencia interna de la prueba, se empleó una técnica similar a la que se establece en el *método de las dos mitades*. Consiste en la aplicación del mismo test a un mismo grupo de sujetos, dividiendo, posteriormente, el test en dos mitades, o sea, la mitad de los ítems constituye un test y la otra mitad el otro. Si las puntuaciones de ambas mitades presentan un alto coeficiente de correlación, el test tendrá un buen grado de fiabilidad. No obstante, en nuestro caso no aplicamos el método literalmente, en el sentido de que no dividimos la prueba en dos mitades. Lo que hicimos fue comprobar la correlación entre aquellas cuestiones que, se suponía, estaban asociadas, bien porque las preguntas incidían sobre el mismo aspecto (intervienen ideas relacionadas), o porque eran parecidas pero con diferentes matices. Las parejas de cuestiones de la prueba, sobre las que examinamos la existencia o no de correlación en las respuestas de los alumnos, fueron: 1-2, 2-4, 3-4, 5-7, 5-8, 7-8.

En relación con la validación de la prueba (criterio de confirmabilidad), ésta debe entenderse como un proceso que permite depurar, delimitar y perfeccionar, cada vez más, la prueba para los fines de la investigación. Se debe asumir como un proceso, y no como un producto, derivado de la aplicación reiterada de la misma en diferentes situaciones. Aún así, antes de su primera aplicación, es necesario establecer distintas estrategias que garanticen que el instrumento mida lo que se desea medir. Con objeto de garantizar la validez de la prueba objetiva de evaluación (*validez de contenido* y *validez de constructo*) establecimos las estrategias que siguen.

1) *Validez de contenido*. Se refiere al grado en que las cuestiones de la prueba objetiva son representativas del dominio de conocimiento estudiado. Cada una de las cuestiones de la prueba de evaluación fue diseñada cuidadosamente, en coherencia con los objetivos, contenidos y criterios de evaluación previstos en los módulos didácticos. Hay que añadir que el profesor-investigador cuenta con amplia experiencia en el diseño de pruebas de evaluación de estas características.

2) *Validez de constructo*. Indica el grado en que el instrumento de evaluación permite contrastar las hipótesis de trabajo planteadas en la investigación. Para ello, diseñamos las cuestiones de la prueba de modo que fuera posible medir la relación entre las variables definidas en la investigación. Así, cada cuestión (variable independiente) nos permitió

²³Habitualmente, este procedimiento se hace mediante el método del test-retest, que consiste en aplicar la misma prueba al mismo grupo de alumnos en dos ocasiones diferentes, y calcular el *coeficiente de correlación de Pearson*. Teniendo en cuenta que se disponía de dos horas semanales para el estudio del modelo didáctico, y que su aplicación completa –incluida la realización de las 4 pruebas– consumen unas 20 sesiones, la aplicación del retest hubiese supuesto un aumento de 2 semanas más; lo cual iba en detrimento de otros contenidos de la asignatura.

evaluar el grado de aprendizaje logrado por los alumnos (variable dependiente), respecto al contenido que se planteaba, y, en consecuencia, dar respuesta a las hipótesis de acción establecidas. Señalar, además, que el diseño de las cuestiones se hizo de tal modo que nos permitió hacer una codificación de las respuestas, a fin de cuantificar el nivel de conocimiento demostrado por los alumnos, con vistas a hacer el análisis estadístico correspondiente.

Además de las estrategias anteriores, con objeto de aumentar la fiabilidad y validez de las cuestiones con respuestas de opción múltiple (formato mayoritario de las cuestiones que componen la prueba), seguimos algunas de las recomendaciones indicadas por Padilla (2002):

- Presentar junto a la respuesta correcta, buenas alternativas o distractores que atraigan la atención del sujeto como posible respuesta correcta. Los distractores se obtienen a partir de respuestas erróneas habituales de los alumnos.

- El número de opciones de respuesta oscila entre 3 y 5. Teóricamente, a mayor número de distractores plausibles, mayor es la fiabilidad, si bien en ocasiones resulta difícil encontrar varios distractores plausibles, al tiempo que cuanto más opciones de respuestas haya, mayor será el tiempo necesario para ejecutar la prueba.

- Evitar repetir palabras en las distintas opciones. La raíz del enunciado debe redactarse de forma que se incluyan en ella las palabras necesarias, con el fin de evitar la repetición en las alternativas de respuesta.

- La respuesta correcta se situará en un orden que se establezca al azar, de manera que el sujeto no se percate de la pauta que se utiliza y responda según la misma.

- Las alternativas tienen que ser homogéneas en la forma y la estructura. Es importante que ninguna de las opciones ofrecidas –entre ellas, la correcta– quede eliminada por la falta de concordancia gramatical entre el enunciado y la opción de respuesta, o por cuestiones similares. La cuestión correcta tampoco debe ser seleccionada por presentar una forma diferente de las demás. Hay que evitar dar indicios sobre ella mediante aspectos como su longitud, la repetición de palabras clave, etc.

- Cada pregunta ha de ser independiente de las demás. Aun cuando se refieran al mismo concepto o fenómeno, su enunciado o información no ayudará a responder otra cuestión de la prueba.

Otra estrategia de fiabilidad y validez de la prueba objetiva consistió en tomar como referencia otros cuestionarios y pruebas objetivas diseñadas en investigaciones precedentes (p.e. Ruiz, Rosado y Oliva, 1991; Furió y Guisasola, 1998; De la Fuente *et al*, 2003), cuya validez y fiabilidad han sido contrastadas favorablemente.

En cualquier caso, el mayor argumento de validez y fiabilidad de la prueba objetiva diseñada, estriba en que cada cuestión ha sido cuidadosamente pensada, diseñada e incluida como consecuencia de un proceso de reflexión y análisis exhaustivo del propósito de la investigación planteada.

4.4. Cuestionario sobre el proceso de enseñanza/aprendizaje desarrollado en el aula

A fin de conocer la opinión del alumnado investigado sobre todos los aspectos intervinientes en el proceso de enseñanza/aprendizaje, se elaboró un cuestionario de encuesta (véase el Anexo III) con 23 declaraciones, que estaban organizadas en los siguientes principios o categorías:

- (1) *Intencionalidad del proceso de enseñanza/aprendizaje* (ítems 1.1, 1.2, 1.3).
- (2) *Planificación del proceso de enseñanza/aprendizaje* (ítems 2.1, 2.2, 2.3, 2.4, 2.5).
- (3) *Clima de clase durante el proceso de enseñanza/aprendizaje* (ítems 3.1, 3.2, 3.3).
- (4) *Rendimiento escolar obtenido* (ítems 4.1, 4.2, 4.3, 4.4).
- (5) *Evaluación de los elementos intervinientes en el proceso de enseñanza/aprendizaje* (ítems 5.1, 5.2, 5.3).
- (6) *Estimación global del proceso de enseñanza/aprendizaje* (ítems 6.1, 6.2, 6.3, 6.4, 6.5).

En cada una de las declaraciones del cuestionario, el alumnado debía expresar su grado de acuerdo o de desacuerdo mediante una escala Likert de 1 (total desacuerdo) a 5 (total acuerdo).

4.4.1. Estrategias de validación y fiabilidad del cuestionario de encuesta

En el diseño del cuestionario de encuesta, tomamos como referente un cuestionario que ha sido empleado, con anterioridad, por Rivas (1997) para valorar la eficacia de un modelo didáctico en la Educación Científica básica. Este cuestionario ha sido validado favorablemente, en reiteradas ocasiones, por el autor y sus colaboradores. No obstante, el cuestionario que elaboramos es una versión adaptada a los intereses de nuestra investigación, de modo que fue necesario analizar su fiabilidad (criterio de credibilidad).

Con el fin de comprobar la existencia o no de *estabilidad* de los resultados (criterio de dependencia), sometimos los datos del cuestionario a la prueba estadística paramétrica *t-test no pareado*²⁴. El proceso consistió en verificar si existían o no diferencias significativas en los valores medios de las estimaciones de los dos grupos de alumnos investigados, respecto a los diferentes aspectos del modelo didáctico. Analizamos la *consistencia interna* del cuestionario a través de un estudio de correlación de aquellos ítems relacionados mediante el coeficiente de Pearson²⁵. Los detalles y resultados del análisis de fiabilidad del cuestionario se describen en el capítulo siguiente.

²⁴En esta ocasión, fue posible aplicar una prueba de contraste paramétrica, porque las variables intervinientes en el cuestionario eran de naturaleza cuantitativa y ordinal.

²⁵Es una medida de asociación lineal entre dos variables de intervalo o razón. El valor de R tiene un rango comprendido entre -1 (relación negativa perfecta, en la que todos los puntos se encuentran sobre una línea con pendiente negativa) y +1 (relación positiva perfecta: todos los puntos se encuentran sobre una línea con pendiente positiva); un valor de 0 indica que no existe ninguna relación lineal.

4.5. Entrevistas personales a los alumnos

Esta técnica se utilizó con el fin de triangular y complementar la información recogida con algunos de los instrumentos anteriores. Con las entrevistas, tratamos de profundizar en diferentes aspectos del proceso de enseñanza/aprendizaje: por una parte, en los niveles de conocimiento de los alumnos y sus concepciones alternativas en relación con el tema; y, por otro, en las opiniones sobre el tema de estudio, la metodología de trabajo y el diseño de los módulos didácticos, experiencia personal adquirida con el estudio de los módulos, etc.

Las entrevistas se hicieron una vez terminado el estudio de todos los módulos didácticos. Se entrevistó a 22 alumnos y alumnas (cerca de un 40% de la muestra de alumnos participantes en la investigación), los cuales fueron escogidos al azar. Se empleó, para ello, el método de *entrevista dirigida*, que consiste en introducir indicaciones orales más explícitas, por parte del entrevistador (profesor), con el fin de activar una información más concreta en cada una de las preguntas del cuestionario. No obstante, de inicio, en todas las entrevistas hechas se empleó el mismo guión de preguntas (Anexo IV). Las entrevistas fueron grabadas en audio y realizadas durante los recreos y horas de tutoría. Cada entrevista tenía una duración de entre 20 y 30 minutos, con objeto de no agotar al alumno ante tanta pregunta y evitar que perdiera la concentración. En las entrevistas era fundamental la plena colaboración del alumnado, y todos los seleccionados se mostraron dispuestos a ello. Los aspectos tratados en las entrevistas se sintetizan en la tabla 6.2.

Es preciso indicar que, dado el carácter dirigido de las entrevistas, se introdujeron numerosas preguntas auxiliares, por parte del entrevistador, con el fin de extraer la máxima información posible del alumno. No era posible hacer una codificación estándar de los niveles de respuesta de los alumnos –tal como se indica en la definición de variables– en cada una de las preguntas realizadas, habida cuenta que no todos los entrevistados respondieron al mismo número de éstas. Por ello, en algunos casos, con el propósito de obtener una respuesta fundamentada del alumno, fue preciso desglosar preguntas que otros respondieron de manera directa en su formulación inicial. Por consiguiente, a la hora de categorizar las respuestas, en lugar de hacerlo pregunta a pregunta, lo hicimos por bloques de preguntas y respuestas referidas a un determinado aspecto (tabla 6.2) y según las variables definidas para el análisis de las entrevistas personales.

PRIMERA PARTE

- Explicación del comportamiento de los semiconductores a altas temperaturas y su comparación con los conductores.
- Comprensión del concepto de hueco y de sus propiedades.
- Comprensión de los procesos de generación y recombinación de pares electrón-hueco.
- Comprensión del proceso de dopado de un semiconductor.

SEGUNDA PARTE

- Aspectos más y menos valorados por los alumnos en relación con los módulos didácticos estudiados.
- Comparación y valoración de la metodología empleada en el estudio de los módulos, frente a la metodología tradicional.
- Dificultades encontradas sobre la metodología empleada en el estudio de los módulos.
- Comparación y valoración de la presentación de los contenidos en los módulos (en forma de programas-guía de actividades) frente a la que se hace en los habituales libros de texto de Física y Química.
- Comparación de la dificultad de los contenidos de Física de Semiconductores con las de otros temas de la asignatura.
- Valoración y reflexión general sobre la experiencia obtenida con el estudio de los módulos didácticos.

Tabla 6.2.- Contenidos de las entrevistas personales en relación con el estudio de nociones de Física de Semiconductores.

4.5.1 . Estrategias de validación y fiabilidad de las entrevistas personales

De acuerdo con Padilla (2002), aun cuando se haya puesto cuidado en la confección de la entrevista, es conveniente hacer algún tipo de estudio previo del instrumento, antes de su utilización definitiva. La idea es tratar de depurar el cuestionario de la entrevista y encauzar, convenientemente, las preguntas ante situaciones que puedan producir algún tipo de sesgo en la información (criterio de confirmabilidad). Por este motivo, con anterioridad a las entrevistas definitivas, se hicieron entrevistas de prueba. Con éstas, comprobamos que los alumnos, en general, vivían la entrevista con nerviosismo; sobre todo, por el hecho de que se estuviera grabando la conversación²⁶. De modo que se intentó hacer las entrevistas sucesivas del modo más relajado posible, creando un ambiente distendido. Para ello, antes de comenzar con las preguntas, generalmente, se mantenía una pequeña conversación informal con el alumno, en la que, incluso, se introducían ciertas dosis de humor.

Además de las consideraciones anteriores, con el fin de obtener garantías sobre la validez y fiabilidad de las entrevistas, en el diseño de las entrevistas seguimos las recomendaciones de Silva (1992; cit. en Padilla, 2002: 173):

1) *Para asegurar una mayor fiabilidad:*

- Estimar las bases motivacionales de la respuesta.

²⁶Este efecto es conocido como *reactividad* (Anguera, 1995; cit. en Padilla, 2002: 113) y se encuentra entre las posibles fuentes de sesgos que afectan a las técnicas y registros observacionales.

- Utilizar grupos de preguntas (conjunto de preguntas que redunden sobre un mismo aspecto) en lugar de preguntas aisladas.
- La clara especificación temporal de las preguntas.
- Preguntar por acontecimientos objetivos o indicadores observables de la conducta.
- Facilitar al entrevistado la posibilidad de contrastar la adecuación de sus respuestas.

2) *Para asegurar una mayor validez:*

- Dar instrucciones y aclaraciones que sitúen al entrevistado en el tema a tratar.
- Que las preguntas sean transparentes y el lenguaje comprensible.
- Facilitar diversas alternativas de respuesta.
- Dar preferencia a los indicadores observables de la conducta.
- Intentar detectar y neutralizar tendencias de respuesta.
- Asegurar la confidencialidad de la información y el secreto profesional.
- Abrir la posibilidad de contrastar la respuesta mediante otras fuentes de información.

En el siguiente capítulo se exponen diversos fragmentos de respuestas de los alumnos entrevistados, con el propósito de poner de manifiesto la *credibilidad* y *confirmabilidad* de la información obtenida con las mismas.

5. Referencias bibliográficas

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

Camacho, C. y Sánchez, E.F. (1997). *Psicometría*. Sevilla: Kronos.

Cañal, P. *et al* (1997). *Investigar en la escuela: elementos para una enseñanza alternativa*. Sevilla: Díada.

Castillo, S. y Cabrerizo, J. (2003). *Evaluación Educativa y Promoción Escolar*. Madrid: Pearson.

Chavero, J.C. (1998). *Hipermedia en Educación. El modo escritor como catalizador del proceso enseñanza-aprendizaje en la Enseñanza Secundaria Obligatoria*. Tesis Doctoral. Universidad de Extremadura.

Dávila, S. (2000). El aprendizaje significativo: esa extraña expresión utilizada por todos y comprendida por pocos. *Contexto Educativo*, 9. En: <http://www.contexto-educativo.com.ar>.

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

Elliott, J. (2000). *La investigación-acción en educación* (4ª ed.). Madrid: Morata.

Fernández, J., *et al* (2002). *¿Cómo hacer unidades didácticas innovadoras?* (2ª ed.). Sevilla: Díada.

Furió, C. y Guisasola, J. (1998). Dificultades de aprendizaje de los conceptos de carga y campo eléctrico en alumnos de Bachillerato y Universidad. *Enseñanza de las Ciencias*, 16(1), pp. 131-146.

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

Giné, N. y Parcerisa, A. (2000). *Evaluación en la Educación Secundaria. Elementos para la reflexión y recursos para la práctica*. Barcelona: Graó.

Hierrezuelo, J. y Montero, A. (1991). *La Ciencia de los alumnos*. Vélez-Málaga: Elzevir.

Kemmis, S. y MacTaggart, R. (1992) *Cómo planificar la investigación-acción*. Barcelona: Laertes.

Lafourcade, P.D. (1972). *Evaluación de los aprendizajes*. Bogotá: Cincel.

Latorre, A. (2003). *La Investigación-acción. Conocer y cambiar la práctica educativa*. Barcelona: Graó.

Marín, N. (2003). Visión constructivista dinámica para la enseñanza de las Ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, nº extra, pp. 43-55.

Martín-Moreno, Q. (1996). *La Organización de Centros Educativos en una Perspectiva de Cambio*. Madrid: Sanz y Torres.

Oliva, J.M. (1994). *Influencia de las variables cognitivas en la construcción de conocimientos de mecánica. Un estudio empírico y un análisis computacional*. Tesis Doctoral. UNED. Madrid.

Padilla, M.T. (2002). *Técnicas e instrumentos para el diagnóstico y la evaluación educativa*. Sevilla: CCS.

Perales, F.J. (1993). La resolución de problemas: una revisión estructurada. *Enseñanza de las Ciencias*, 11(2), pp. 170-178.

Pontes, A. y De Pro, A. (2001). Concepciones y razonamientos de expertos y aprendices sobre Electrocínética: consecuencias para la enseñanza y la formación de profesores. *Enseñanza de las Ciencias*, 19(1), pp. 103-121.

Porlán, R. y Martín, J. (1993). *El diario del profesor. Un recurso para la investigación en el aula*. Sevilla: Díada.

Rivas, F. (1997). *El proceso de Enseñanza/Aprendizaje en la situación educativa*. Barcelona: Ariel.

Rosado, L. y Ayensa, J. M. (2001). *Investigar en Didáctica de la Física y Materias Afines. Tratado para profesores y doctorandos*. Madrid: UNED.

Ruiz, A., Rosado, L. y Oliva, J.M. (1991). Investigación de las ideas de los alumnos de enseñanza secundaria sobre la corriente eléctrica. *Enseñanza de las Ciencias*, 9(2), pp. 155-162.

Sierra Bravo, R. (2001). *Técnicas de Investigación Social* (14ª ed.). Madrid: Paraninfo.

Zuñartu, L. M. (2003). Aprendizaje colaborativo: una nueva forma de Diálogo Interpersonal y en Red. *Contexto Educativo*, 28. En: <http://www.contexto-educativo.com.ar>.

CAPÍTULO 7: RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN Y TEORIZACIÓN SOBRE LA ENSEÑANZA DE NOCIONES DE FÍSICA DE SEMICONDUCTORES EN SECUNDARIA

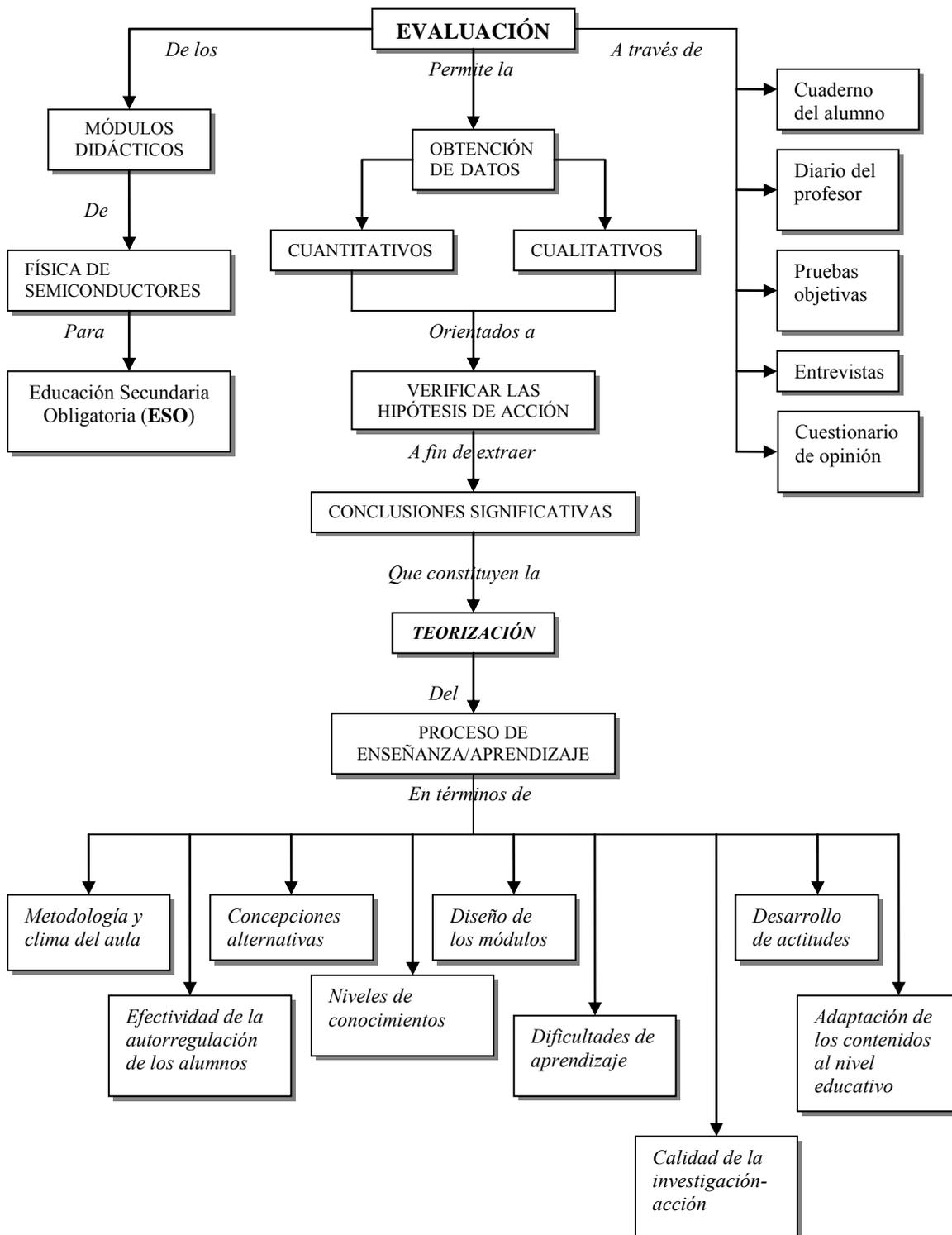
Resumen

Se exponen los resultados de la evaluación del proceso de enseñanza/aprendizaje, llevado a cabo con los módulos didácticos en dos ocasiones. A partir de estos, se hace una valoración de la eficacia de los módulos con vistas a consolidar la enseñanza de nociones de Física de Semiconductores en la ESO. Los progresos y dificultades de aprendizaje se evalúan a través de los comentarios y reflexiones de los alumnos, registrados en sus cuadernos (*autoevaluación y evaluación formadora*). Este análisis permite hacer una valoración del proceso de *autorregulación* realizado por los alumnos durante su aprendizaje. La evaluación de los conocimientos declarativos y procedimentales se hace mediante pruebas escritas de lápiz y papel y sus correspondientes inventarios de corrección. Asimismo, se describen y analizan las concepciones y razonamientos más frecuentes de los alumnos. También se hace una evaluación global y sumativa de todos los aspectos intervinientes en el proceso de enseñanza/aprendizaje, mediante entrevistas personales y un cuestionario de encuesta. Se exponen las estrategias de validación y fiabilidad de los instrumentos de evaluación empleados, que dan idea de la calidad de la investigación-acción realizada. Finalmente, a partir de los resultados de la evaluación, se comprueba la veracidad de las distintas hipótesis de acción con el fin de establecer la *teorización* de la práctica educativa desarrollada.

Esquema/Sumario

1. Introducción
2. Evaluación del proceso de enseñanza/aprendizaje desarrollado con los módulos didácticos
 - 2.1. Resultados del proceso de autorregulación del aprendizaje. Análisis de los cuadernos de los alumnos
 - 2.1.1 Niveles de aprendizaje autoestimados en las actividades del módulo I
 - 2.1.2 Niveles de aprendizaje autoestimados en las actividades del módulo II
 - 2.1.3 Niveles de aprendizaje autoestimados en las actividades del módulo III
 - 2.1.4 Niveles de aprendizaje autoestimados en las actividades del módulo IV
 - 2.1.5 Niveles de aprendizaje autoestimados en las actividades del módulo V
 - 2.2. Evaluación de los conocimientos declarativos y procedimentales

- 2.2.1. Resultados de la prueba escrita
- 2.2.2. Análisis de entrevistas sobre nociones básicas de Física de Semiconductores
- 2.3. Evaluación global del proceso de enseñanza/aprendizaje
 - 2.3.1. Resultados obtenidos mediante el cuestionario de encuesta
 - 2.3.2. Análisis de las entrevistas personales
3. Verificación de las hipótesis de acción y teorización de la investigación
 - 3.1. Diseño de los módulos, metodología, clima del aula y actitudes hacia el estudio de la Física de Semiconductores
 - 3.2. Fomento de la autorregulación del aprendizaje de nociones de Física de Semiconductores mediante módulos didácticos constructivistas
 - 3.3. Adaptación de contenidos de Física de Semiconductores al nivel de ESO
 - 3.4. Evaluación sumativa del proceso de enseñanza/aprendizaje
4. Perspectivas futuras de investigación
5. Referencias bibliográficas



1. Introducción

La puesta en práctica y evaluación de los módulos didácticos se llevó a cabo en el marco empírico descrito en el capítulo anterior. La evaluación estuvo enfocada a comprobar la veracidad de las predicciones hechas en las hipótesis de acción. Las conclusiones obtenidas de este proceso de verificación, permitieron elaborar la *Teorización* de la práctica educativa realizada; esto es, la determinación del grado de eficiencia didáctica de los módulos propuestos para la enseñanza de nociones de Física de Semiconductores en Secundaria. La evaluación se realizó mediante los instrumentos y técnicas descritos en el diseño empírico.

El análisis de los cuadernos proporcionó información de los procesos de autorregulación, que los alumnos practicaron durante su aprendizaje con los módulos didácticos. Con la elaboración de los comentarios y reflexiones, registrados en los cuadernos, se trató de transferir parte de la responsabilidad de la evaluación al alumnado (evaluación formadora), con el propósito de favorecer su autonomía (o aprendizaje autónomo) y, en consecuencia, un aprendizaje significativo. El desarrollo de la autonomía ha de proveer al alumno de estrategias que le permitan corregir sus errores y progresar en su aprendizaje. Para ello, es necesario que el alumnado conciba cuáles son los objetivos de aprendizaje previstos en los módulos didácticos.

Con objeto de completar la información obtenida a través del cuaderno de los alumnos, se hicieron entrevistas personales y se pasó un cuestionario de encuesta; todo ello, orientado a evaluar los aspectos intervinientes en el proceso de enseñanza/aprendizaje (evaluación global y sumativa).

La evaluación de los niveles de conocimientos conceptuales y procedimentales se realizó mediante la prueba objetiva de lápiz y papel y las entrevistas personales. Su valoración se hizo a partir de un inventario de correcciones, con el propósito de uniformar criterios sobre los niveles de conocimiento alcanzados por los alumnos y, en su caso, categorizar las concepciones alternativas más frecuentes. Conscientes de que el aprendizaje significativo en Física no es fácil, consideramos que la integración de la Física de Semiconductores en la ESO, será satisfactoria – al menos en sus primeros pasos, con esta investigación precursora– si se aprecian, a lo sumo, dificultades de aprendizaje similares a las del resto de contenidos de Física en este nivel educativo.

De antemano sabemos, por las condiciones en las que se realiza una investigación-acción práctica, que los resultados obtenidos carecen de validez externa, en el sentido de que no son generalizables a poblaciones más amplias. Lo que se intenta conseguir es que los resultados sean tenidos en cuenta en otras investigaciones, que se realicen en contextos educativos similares, con el fin de determinar lo que es común y lo que es particular de cada contexto. Por este motivo, se presta especial atención a la validez interna (de constructo y de contenido), es decir, a que los instrumentos de la investigación permitan obtener los datos precisos para dar respuestas al problema de investigación planteado. Asimismo, se hace especial hincapié en la fiabilidad de los resultados, con idea de que constituyan un marco de referencia importante en futuras investigaciones, orientadas a la enseñanza/aprendizaje de nociones de Física de Semiconductores.

2. Evaluación del proceso de enseñanza/aprendizaje desarrollado con los módulos didácticos

2.1. Resultados del proceso de autorregulación del aprendizaje. Análisis de los cuadernos de los alumnos

A partir de los cuadernos de los alumnos, evaluamos los progresos y dificultades de aprendizaje, estimados por ellos mismos (autoevaluación), como parte del ejercicio de *autorregulación* de los aprendizajes, que practicaron durante el estudio de los módulos. Las valoraciones y reflexiones registradas por los alumnos, permitieron hacer una clasificación cualitativa de los diferentes niveles de aprendizaje: *Nivel I* (sigue sin comprender la actividad, después de la puesta en común), *Nivel II* (corrige sus errores iniciales y manifiesta comprender la actividad después de la puesta en común) y *Nivel III* (comprende bien la actividad desde el principio y no necesita corrección).

En lo que sigue, se comentan estos niveles de aprendizaje. Con objeto proporcionar una visión clara y objetiva del proceso de *autorregulación* realizado por los alumnos, se exponen también, a modo de ejemplos, algunos fragmentos de reflexiones y comentarios²⁷ reflejados en sus cuadernos.

2.1.1. Niveles de aprendizaje autoestimados en las actividades del módulo I

En primer lugar, se comprobó si existían diferencias apreciables en los niveles de aprendizaje autoestimados por los alumnos de los grupos investigados. Para ello, se aplicó el estadístico no paramétrico *U de Mann-Whitney* (tabla 7.1). A partir de los resultados de la prueba, se concluye que, con un nivel de significación del 5% ($\alpha=0,05$), no existen diferencias significativas en los niveles de aprendizaje autoestimados por los alumnos en las actividades 1 y 2; tampoco en la actividad 3, con un nivel de significación del 1% ($\alpha=0,01$). Este resultado permite considerar a los dos grupos como si fuese una sola muestra ($N=60$); dicho de otro modo, la aplicación del módulo didáctico, en dos ocasiones diferentes, proporciona resultados semejantes. Por tanto, se pone de relieve la fiabilidad del módulo, en tanto que la ejecución de las actividades proporcionó resultados estables en dos ocasiones diferentes, aunque educativamente similares.

La distribución de frecuencias (porcentual) de los niveles de aprendizaje, autoestimados por los alumnos en cada una de las actividades del módulo, se muestra en la tabla 7.2. Se observa que en la actividad 1, más de la mitad del alumnado (68,3%) dice que terminó comprendiendo el contenido desarrollado; entre estos, el 10% no necesita corrección (nivel III) y el 58,3% necesitó de la puesta en común (nivel II). Aún así, se aprecia un porcentaje considerable de alumnos (31,7%) que no consigue superar el nivel I (continúa sin comprender el contenido de la actividad, aún después de la puesta en común).

²⁷Recordamos que eran valoraciones y reflexiones libres, que redactaban los alumnos después de la puesta en común de cada actividad, de modo que se encontraron multitud de formas de estructuración y extensión de las mismas. Era condición obligada que el alumnado estimase el grado de comprensión logrado en la actividad, a fin de que pudiese ser catalogado de acuerdo con los niveles de aprendizaje preestablecidos.

(N=60)	ACT1	ACT2	ACT3
U de Mann-Whitney	378,000	404,000	321,500
Z	-1,144	-0,681	-2,017
Nivel de significación	0,253*	0,496*	0,044**
* Diferencias NO SIGNIFICATIVAS para un nivel de significación del 5% ($p > 0,05$).			
** Diferencias NO SIGNIFICATIVAS para un nivel de significación del 1% ($p > 0,01$).			

Tabla 7.1.- Prueba U de Mann-Whitney para la comprobación de la estabilidad de los resultados obtenidos con las actividades del módulo "Los materiales semiconductores en el desarrollo de la Electrónica", aplicado en dos ocasiones.

(N = 60)	ACT 1	ACT 2	ACT 3
Nivel I	31,7	18,3	15,0
Nivel II	58,3	53,3	48,3
Nivel III	10,0	28,3	36,7
Total	100,0	100,0	100,0

Tabla 7.2.- Frecuencias (%) de los niveles de aprendizaje autoestimados por los alumnos en las actividades del módulo "Los materiales semiconductores en el desarrollo de la Electrónica".

En la actividad 2 se registra una reducción considerable de alumnos con nivel I (18,3%), respecto a la actividad 1. El 81,6% de los alumnos afirma haber comprendido la actividad, de los que no necesita corrección el 28,3% (nivel III), mientras que el 53,3% lo logró después de realizar la puesta en común (nivel II).

En la actividad 3 se consiguen los niveles de comprensión más altos del módulo; el 85% de los alumnos manifiesta comprender el contenido de la actividad (48,3% del nivel II y el 36,7% del nivel III).

Desde una perspectiva global, se concluye que en todas las actividades del módulo, la mayoría de los alumnos logró niveles de aprendizaje II y III. Esto significa que el módulo, además de propiciar que los alumnos sean conscientes de su propio aprendizaje, en el sentido de que son capaces de autorregularlo, favoreció el desarrollo de actitudes y motivaciones necesarias con vistas a afrontar el estudio de nociones de Física de Semiconductores. Además, se puede hablar de una validez (de constructo y de contenido) adecuada del módulo, porque permitió evaluar los niveles de

aprendizaje del modo previsto (mediante la categorización de los mismos), y de acuerdo con los objetivos establecidos.

A título de ejemplo se exponen, a continuación, algunos fragmentos de comentarios y reflexiones escritos por alumnos en las actividades de este módulo.

Nivel I de aprendizaje: « [...] En esta pregunta no entendía nada; [...] con las explicaciones del profesor entendí algo más, pero aún tengo muchas dudas sobre el significado de *circuito integrado*.» [Alumna que hace una valoración sobre su nivel de aprendizaje en la actividad 3 del módulo].

Nivel II de aprendizaje: «Esta actividad la he realizado con la ayuda de mi compañero. [...] Me ha costado mucho trabajo porque he tenido que leer al menos cuatro veces el texto para comprenderlo. Algunas de las palabras que no entendía, por más que las busqué no conseguí encontrarlas; por lo que tuve que copiarlas cuando hicimos la corrección en clase. También me costó mucho trabajo realizar las demás cuestiones, sobre todo por las palabras que no comprendía. Pero con la ayuda de mi compañero y la corrección en clase me ha quedado claro lo importante de la actividad y ya la entiendo mucho mejor.» [Alumno que valora su aprendizaje en la actividad 1 del módulo].

Nivel III de aprendizaje: «No he tenido ningún problema en hacer esta actividad, y parece que la mayoría de la clase la ha entendido. [...] Surgió un debate sobre la miniaturización de los móviles, porque algunos decían que ya no se pueden hacer móviles más pequeños [...]. Se comentó también que existen programas de ordenador que son capaces de escribir las palabras que tú le dictes [...]. Se terminó diciendo que gran parte de estos adelantos son debidos a los avances conseguidos con los materiales semiconductores.» [Alumna que comenta el desarrollo de la actividad 2 en clase e indica su nivel de aprendizaje].

2.1.2. Niveles de aprendizaje autoestimados en las actividades del módulo II

Antes de evaluar los niveles de aprendizaje conseguidos en las actividades del módulo II (módulo de preparación previa), se estudió si había diferencias significativas en los datos obtenidos en las dos ocasiones. Con la prueba *U de Mann-Whitney* (tabla 7.3) y para un nivel de significación del 5% ($\alpha=0,05$), se obtuvo que no existen diferencias significativas en los niveles de aprendizaje autoestimados por los alumnos en las actividades 2, 3, 4, 5, 7, 8, 12 y 13; tampoco se encuentran diferencias significativas en las actividades 1, 6, 9, 10 y 11, para un nivel de significación del 1% ($\alpha=0,01$). Con este resultado, es posible considerar a los alumnos investigados en las dos ocasiones como si fuesen una misma muestra ($N=60$). Lo cual constata la fiabilidad de las actividades del módulo didáctico, en el sentido de que su realización proporcionó resultados estables en dos intervenciones educativas diferentes.

	U de Mann-Whitney	Z	Nivel de significación
ACT 1	323,000	-2,220	0,026**
ACT 2	421,500	-0,397	0,691*
ACT 3	386,500	-0,991	0,322*
ACT 4	428,500	-0,391	0,696*
ACT 5	340,000	-1,729	0,084*
ACT 6	312,000	-2,195	0,028**
ACT 7	422,000	-0,387	0,699*
ACT 8	381,000	-1,026	0,305*
ACT 9	304,500	-2,307	0,021**
ACT 10	332,500	-1,970	0,049**
ACT 11	285,500	-2,537	0,011**
ACT 12	395,500	-1,259	0,208*
ACT 13	369,000	-1,350	0,177*
* Diferencias NO SIGNIFICATIVAS para un nivel de significación del 5% ($p > 0,05$).			
** Diferencias NO SIGNIFICATIVAS para un nivel de significación del 1% ($p > 0,01$).			

Tabla 7.3.- Prueba U de Mann-Whitney para la comprobación de la estabilidad de los resultados obtenidos con las actividades del módulo "Naturaleza eléctrica de la materia", aplicado en dos ocasiones.

La distribución de frecuencias de los niveles de aprendizaje, estimados por los propios alumnos en las actividades del módulo, se indica en la tabla 7.4. Se concluye que, en todas las actividades del módulo, el número de alumnos que manifiestan comprender el contenido de las mismas (una vez realizada la puesta en común) supera el 70% (niveles II y III). No obstante, es preciso decir que en seis actividades (actividades 2, 3, 5, 6, 10 y 13), más del 45% de los alumnos necesitó de la puesta en común para terminar comprendiéndolas (nivel II). Esto revela la importancia y el grado de eficacia de las discusiones y puestas en común realizadas durante el proceso de enseñanza/aprendizaje y, en consecuencia, del proceso de *autorregulación* efectuado por los alumnos. Por consiguiente, se puede decir que el estudio del módulo proporcionó a la mayoría del alumnado la formación previa necesaria, en estructura de la Materia y Electricidad, para afrontar el aprendizaje de nociones de Física de Semiconductores. Se constata, también, la validez (de constructo y de contenido) de las actividades del módulo didáctico, ya que permitieron evaluar los niveles de aprendizaje del modo previsto (diferenciando tres niveles o categorías de autoestimación del aprendizaje) y según los objetivos didácticos previstos.

(N=60)	Nivel I	Nivel II	Nivel III	Total
ACT1	1,7	31,7	66,7	100,0
ACT2	8,3	45	46,7	100,0
ACT3	18,3	58,3	23,3	100,0
ACT4	1,7	15	83,3	100,0
ACT5	11,7	48,3	40	100,0
ACT6	10	45	45	100,0
ACT7	15	31,7	53,3	100,0
ACT8	28,3	43,3	28,3	100,0
ACT9	11,7	41,7	46,7	100,0
ACT10	26,7	63,3	10	100,0
ACT11	30	41,7	28,3	100,0
ACT12	3,3	10	86,7	100,0
ACT13	10	65	25	100,0

Tabla 7.4.- Frecuencias (%) de los niveles de aprendizaje autoestimados por los alumnos en las actividades del módulo "Naturaleza eléctrica de la materia".

A continuación se exponen, como ejemplos, algunos fragmentos de comentarios y reflexiones escritos por alumnos en las actividades de este módulo.

Nivel I de aprendizaje: « [...] En clase, hablando de esta actividad, ha habido alguna vez que no he podido opinar, ya que no sabía qué se comentaba y me encontraba perdida. [...] La verdad es que sigo sin comprender bien la actividad, aunque espero que haciendo las siguientes pueda llegar a entenderlo, porque me ha pasado con otras actividades.» [Alumna que valora su aprendizaje en la actividad 9 del módulo].

Nivel II de aprendizaje: «Esta actividad me ha resultado difícil porque no sabía el porqué; suponía que era por lo del signo de la carga. Mi hipótesis estaba más o menos bien, al igual que la de Laura. Mi profesor me llamó para que explicara en voz alta mi teoría [...]. Ahora sí la entiendo bien.» [Alumno que valora su aprendizaje en la actividad 9 del módulo].

Nivel III de aprendizaje: «No he encontrado ninguna dificultad en esta actividad, ya que hace poco que lo estudiamos y creo que he asimilado bien los conceptos de átomo y de las partículas que la componen. He observado que durante la clase, haciendo esta actividad, nadie o casi nadie ha preguntado nada acerca de ella [...].» [Alumna que valora su aprendizaje en la actividad 3 del módulo].

2.1.3. Niveles de aprendizaje autoestimados en las actividades del módulo III

Previamente a la evaluación de los niveles de aprendizaje autoestimados por los alumnos en las actividades del módulo III (Definición y propiedades físicas de los semiconductores), se analizó si existía estabilidad en los resultados registrados en las dos ocasiones. La prueba de contraste *U* de

Mann-Whitney (tabla 7.5) indicó que no existen diferencias significativas en los niveles de aprendizaje autoestimados en las actividades del módulo, para niveles de significación del 5% ($\alpha=0,05$) en las nueve primeras, y del 1% ($\alpha=0,01$) en la décima. De modo que es posible hablar de una adecuada fiabilidad de las actividades del módulo, en tanto que propiciaron resultados educativos similares en dos situaciones educativas distintas. Asimismo, permite considerar a los dos grupos de alumnos como si formasen una única muestra ($N=60$); sobre todo, a la hora de hacer un análisis de sus progresos y dificultades de aprendizaje.

	U de Mann-Whitney	Z	Nivel de significación
ACT 1	353,500	-1,703	0,089*
ACT 2	345,000	-1,640	0,101*
ACT 3	369,500	-1,337	0,181*
ACT 4	442,000	-0,057	0,955*
ACT 5	431,500	-0,225	0,822*
ACT 6	366,500	-1,298	0,194*
ACT 7	372,000	-1,179	0,238*
ACT 8	365,000	-1,316	0,188*
ACT 9	345,500	-1,594	0,111*
ACT 10	312,500	-2,237	0,025**
* Diferencias NO SIGNIFICATIVAS para un nivel de significación del 5% ($p>0,05$).			
** Diferencias NO SIGNIFICATIVAS para un nivel de significación del 1% ($p>0,01$).			

Tabla 7.5.- Prueba U de Mann-Whitney para la comprobación de la estabilidad de los resultados obtenidos con las actividades del módulo "Definición y propiedades físicas de los semiconductores", aplicado en dos ocasiones.

La distribución de frecuencias de los niveles de aprendizaje, autoestimados por los alumnos en las actividades del módulo III, se recoge en la tabla 7.6.

(N = 60)	ACT1	ACT2	ACT3	ACT4	ACT5	ACT6	ACT7	ACT8	ACT9	ACT10
Nivel I	6,7	15,0	13,3	18,3	40,0	11,7	35,0	43,3	23,3	10,0
Nivel II	23,3	50,0	21,7	31,7	41,7	38,3	45,0	45,0	43,3	33,3
Nivel III	70,0	35,0	65,0	50,0	18,3	50,0	20,0	11,7	33,3	56,7
Total	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Tabla 7.6.- Frecuencias (%) de los niveles de aprendizaje declarados por los alumnos en las actividades del módulo "Definición y propiedades físicas de los semiconductores".

En la tabla 7.6, se observa que las actividades 5, 7 y 8 ocasionaron problemas de aprendizaje a más del 35% de los alumnos, dado que, según ellos, no lograron comprender el contenido de las mismas, incluso después de las puestas en común en clase (nivel I). En estas mismas actividades, el porcentaje de alumnos que manifestaron haberlas comprendido es superior al 50%, donde se encuentran aquellos que detectan y corrigen sus errores, gracias a las puestas en común (nivel II), y aquellos que la comprenden desde un inicio (nivel III). En las demás actividades (1, 2, 3, 4, 6, 9 y 10), se detecta que más del 75% de los alumnos indica haber comprendido los contenidos desarrollados (niveles II y III).

Los resultados anteriores revelan que, tanto las discusiones y puestas en común realizadas en clase como el proceso de *autorregulación* efectuado por los alumnos, surtieron efectos favorecedores en el aprendizaje del contenido del módulo didáctico. Además, se pone en evidencia la validez (de constructo y de contenido) de las actividades del módulo, en el sentido de que permitieron evaluar los niveles de aprendizaje, tal y como se ha descrito.

En lo que sigue, se exponen, a título de ejemplo, algunos fragmentos de comentarios y reflexiones escritos por alumnos en las actividades de este módulo.

Nivel I de aprendizaje: « [...] He entendido algo de la actividad con el esquema que se ha hecho en clase, sobre cómo llega la electricidad a la bombilla, pero no comprendo por qué con el material semiconductor la bombilla sólo se calienta sin llegar a encenderse. » [Alumno que reflexiona sobre su aprendizaje en la actividad 3 del módulo].

Nivel II de aprendizaje: « [...] Después de la corrección en clase, he tenido que añadir que los semiconductores a muy bajas temperaturas son aislantes y a altas temperaturas son conductores. A parte de esto no he tenido problemas y la he entendido bien. » [Alumna que reflexiona sobre su aprendizaje en la actividad 2 del módulo].

Nivel III de aprendizaje: « Esta actividad era muy fácil, o por lo menos para mí, y la he tenido bien. Al hacerla no tuve ninguna dificultad [...]. Durante la corrección, mi compañero Israel se equivocó porque dijo que un semiconductor era a la vez un aislante y un conductor [...]. » [Alumno que reflexiona sobre su aprendizaje, y el de su compañero, en la actividad 4 del módulo].

2.1.4. Niveles de aprendizaje autoestimados en las actividades del módulo IV

Con objeto de conocer el grado de fiabilidad de las actividades del módulo IV (Semiconductores intrínsecos), se analizó si existía estabilidad en los resultados registrados en las dos ocasiones en que fueron aplicadas. Mediante la *U de Mann-Whitney* (tabla 7.7), observamos que no existen diferencias significativas en los niveles de aprendizaje declarados en las actividades 1, 2, 3, 4, 5, 7, 9, 10, 11 y 12, para un nivel de significación del 5% ($\alpha=0,05$). Tampoco se encuentran diferencias significativas en la actividad 8, para un nivel de significación del 1% ($\alpha=0,01$). Sí se encuentran diferencias apreciables en los niveles de aprendizaje alcanzados en la actividad 6; si bien, ello puede ser considerado como una excepción que permite confirmar la fiabilidad de las actividades del módulo, puesto

que el 91,7% de las mismas (11 de las 12 actividades) proporcionan resultados estables en las dos ocasiones. Además, es posible considerar a los dos grupos de alumnos, a efectos de un análisis global del aprendizaje, como una sola muestra (N=60).

En la tabla 7.8 se muestra la distribución de frecuencias de los niveles de aprendizaje autoestimados por los alumnos en las actividades de este módulo. Se observa que más del 70% de los alumnos afirma terminar comprendiendo las actividades 1, 2, 3, 4, 7, 8, 9, 10 y 12, y algo más de un 60%, las actividades 5 y 6; bien porque hacen las correcciones oportunas durante la puesta en común, respecto a su respuesta inicial (nivel II), o bien porque responden correctamente desde un principio (nivel III). No obstante, es de destacar el alto porcentaje de alumnos (50%) que no logran superar el nivel I en la actividad 11. La dificultad de la actividad estuvo ocasionada, principalmente, por la segunda cuestión que se plantea, donde se intenta que los alumnos se aproximen al concepto de semiconductor extrínseco. En el diseño de la actividad se tuvo conciencia de esta posible dificultad, dado que se trata de un concepto que no se introduce explícitamente en este módulo. Aún así, era preciso crear el conflicto cognitivo oportuno, a fin de situar al alumnado en disposición de afrontar el estudio del siguiente módulo, dedicado al comportamiento de los semiconductores extrínsecos. En consecuencia, se trata de una actividad cuya finalidad es servir de punto de partida para el último módulo didáctico; de manera que no debe considerarse un hecho preocupante que gran parte de los alumnos no llegase a comprender en ese momento el contenido de la actividad.

En líneas generales, los resultados obtenidos con las actividades del módulo IV confirman el valor didáctico de las discusiones y puestas en común realizadas en clase, así como del proceso de *autorregulación* efectuado por los alumnos. También se confirma la validez (de constructo y de contenido) de las actividades del módulo, dado que permitieron evaluar los niveles de aprendizaje de la manera prevista y conforme a los objetivos planteados.

A continuación, se exponen algunos fragmentos, a título de ejemplo, de comentarios y reflexiones de alumnos sobre su aprendizaje en las actividades del módulo.

Nivel I de aprendizaje: *«Esta actividad es la que más trabajo me ha costado. No entiendo lo de los semiconductores extrínsecos, y eso de que tengan más electrones que huecos, o al revés. [...] El profesor nos ha dicho que no nos preocupemos, porque lo vamos a estudiar con detenimiento en el siguiente módulo.»* [Alumno que reflexiona sobre su aprendizaje en la actividad 11 del módulo]

Nivel II de aprendizaje: *«En esta actividad me ayudaron Carlos y Javier. Como me lo explicaron ellos sí lo entendía, pero después, al comparar mi respuesta con la correcta, observé que estaba mal; me lo tuvieron que volver a explicar en la puesta en común para llegar a entenderlo [...].»* [Alumna que reflexiona sobre su nivel de aprendizaje en la actividad 2 del módulo].

Nivel III de aprendizaje: *«Esta actividad la tuve bien. Busqué la información en Internet, y todo lo que puse lo saqué de diferentes páginas web. Incluso he puesto más de lo que se pedía, porque en la puesta en común se ha simplificado mucho la*

información para que todo el mundo lo entendiera [...].» [Alumna que reflexiona sobre su nivel de aprendizaje en la actividad 1 del módulo].

(N=60)	U de Mann-Whitney	Z	Nivel de significación
ACT1	409,500	-0,594	0,552*
ACT2	409,500	-0,602	0,547*
ACT3	367,000	-1,287	0,198*
ACT4	422,500	-0,372	0,710*
ACT5	443,500	-0,033	0,974*
ACT6	276,000	-2,736	0,006***
ACT7	353,500	-1,474	0,141*
ACT8	310,000	-2,322	0,020**
ACT9	418,000	-0,469	0,639*
ACT10	443,500	-0,032	0,975*
ACT11	432,500	-0,217	0,828*
ACT12	374,000	-1,212	0,226*
* Diferencias NO SIGNIFICATIVAS para un nivel de significación del 5% ($p > 0,05$). ** Diferencias NO SIGNIFICATIVAS para un nivel de significación del 1% ($p > 0,01$). *** Diferencias SIGNIFICATIVAS para un nivel de significación del 1% ($p < 0,01$).			

Tabla 7.7. Prueba U de Mann-Whitney para la comprobación de la estabilidad de los resultados obtenidos en las actividades del módulo "Semiconductores intrínsecos. Generación de pares electrón-hueco", aplicado en dos ocasiones.

2.1.5. Niveles de aprendizaje autoestimados en las actividades del módulo V

Como en los casos anteriores, se analizó el grado de estabilidad de los niveles de aprendizaje, autoestimados por los alumnos en las actividades, en las dos aplicaciones del módulo V. Con ayuda del estadístico *U de Mann-Whitney* (tabla 7.9), obtuvimos que, para un nivel de significación del 5% ($\alpha = 0,05$), no existían diferencias significativas en los niveles apreciados por los alumnos de su aprendizaje, en ambas ocasiones. Este resultado avala la fiabilidad de las actividades del módulo, puesto que proporcionan resultados semejantes en dos ocasiones diferentes. Además, ello permite considerar a los dos grupos de alumnos investigados como una sola muestra (N=60), con vistas a hacer una descripción global de los niveles de aprendizaje alcanzados.

(N = 60)	Nivel I	Nivel II	Nivel III	Total
ACT1	10	50	40	100,0
ACT2	13,3	56,7	30	100,0
ACT3	15	33,3	51,7	100,0
ACT4	15	43,3	41,7	100,0
ACT5	38,3	48,3	13,3	100,0
ACT6	31,7	48,3	20	100,0
ACT7	26,7	26,7	46,7	100,0
ACT8	18,3	61,7	20	100,0
ACT9	11,7	28,3	60	100,0
ACT10	21,7	38,3	40	100,0
ACT11	50	43,3	6,7	100,0
ACT12	10	31,7	58,3	100,0

Tabla 7.8.- Frecuencias (%) de los niveles de aprendizaje declarados por los alumnos en las actividades del módulo "Semiconductores intrínsecos. Generación y recombinación de pares electrón-hueco".

(N=60)	U de Mann-Whitney	Z	Nivel de significación
ACT1	440,500	-0,091	0,928*
ACT2	363,500	-1,297	0,195*
ACT3	391,500	-0,866	0,386*
ACT4	431,500	-0,240	0,810*
ACT5	366,500	-1,248	0,212*
ACT6	424,000	-0,354	0,723*
ACT7	404,000	-0,679	0,497*
ACT8	397,500	-0,776	0,438*
ACT9	414,000	-0,524	0,600*
* Diferencias NO SIGNIFICATIVAS para un nivel de significación del 5% ($p > 0,05$).			

Tabla 7.9.- Prueba U de Mann-Whitney para la comprobación de la estabilidad de los resultados obtenidos en las actividades del módulo "Semiconductores extrínsecos. Semiconductores p y n", aplicado en dos ocasiones.

La distribución de frecuencias de niveles de aprendizaje autoestimados por los alumnos en las actividades de este módulo, se ofrece en la tabla 7.10. Se observa que las actividades 5 y 6 fueron las que mayores dificultades plantearon, con un 35% y casi un 47% de los alumnos, respectivamente, que terminan sin comprender las actividades. Aún así, fue mayor el número de alumnos –por encima del 50%, en ambas actividades– que manifiestan haber comprendido sus contenidos; unos desde que se enfrentan a ellas la primera vez (nivel III), y otros porque fueron capaces de subsanar sus errores, o aclarar sus dudas, en las puestas en común. En el resto de las actividades, más del 73% de los alumnos se sitúa en los niveles de aprendizaje II y III; esto es, que declaran comprender la actividad una vez corregidas y comentadas en clase.

(N=60)	ACT1	ACT2	ACT3	ACT4	ACT5	ACT6	ACT7	ACT8	ACT9
Nivel I	15,0	26,7	20,0	18,3	35,0	10,0	16,7	46,7	18,3
Nivel II	16,7	38,3	35,0	61,7	36,7	41,7	31,7	36,7	56,7
Nivel III	68,3	35,0	45,0	20,0	28,3	48,3	51,7	16,7	25,0
Total	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Tabla 7.10 Frecuencias (%) de los niveles de aprendizaje autoestimados por los alumnos en las actividades del módulo "Semiconductores extrínsecos. Semiconductores p y n".

Desde una perspectiva global, podemos decir que las actividades del módulo didáctico han surtido los efectos didácticos previstos; esto es, proporcionaron al alumnado una formación básica sobre el comportamiento físico de los semiconductores extrínsecos. Cabe destacar el importante y eficaz papel de las discusiones y puestas en común llevadas a cabo en clase, como elementos inherentes al proceso de *autorregulación* efectuado por los alumnos. Todo ello, además, indica el alto grado de validez (de constructo y de contenido) de las actividades del módulo, habida cuenta que permitieron evaluar los niveles de aprendizaje de los alumnos como se deseaba.

En lo sigue, exponemos, como ejemplos, algunos fragmentos de comentarios y reflexiones de los alumnos sobre su aprendizaje en las actividades del módulo.

Nivel I de aprendizaje: «*Esta actividad me resultó muy complicada, ya que la he intentado pero no la entiendo muy bien. Me hago un lío sobre cuándo sobra un electrón o un hueco en el semiconductor [...].*» [Alumna que reflexiona sobre su aprendizaje en la actividad 3 del módulo]

Nivel II de aprendizaje: «*Esta actividad me costó mucho trabajo comprenderla, pero al final la entendí. Me ayudó Cristina porque yo no sabía hacerla, y cuando me la explicó me costó mucho trabajo entenderla, pero me ha quedado más clara [...].*» [Alumno que reflexiona sobre su aprendizaje en la actividad 4 del módulo]

Nivel III de aprendizaje: «*En esta actividad no he necesitado corrección. [...] He comprendido bien que un hueco sólo tiene existencia en un semiconductor, y no tiene existencia fuera de éste [...].*» [Alumna que reflexiona sobre su aprendizaje en la actividad 8 del módulo]

2.2. Evaluación de los conocimientos declarativos y procedimentales

2.2.1. Resultados de la prueba escrita

Para el análisis de los niveles de conocimiento declarados por los alumnos en la prueba escrita, se tuvieron presentes los criterios de clasificación establecidos en el capítulo anterior. Si bien, antes se analizó la fiabilidad de la prueba. Por un lado, comprobamos la existencia de *estabilidad de los resultados* obtenidos en las dos ocasiones, y, por otro, el grado de *consistencia interna* de la prueba, mediante la medida de correlación de las respuestas dadas en aquellas cuestiones relacionadas.

Con el fin de comprobar si existían diferencias significativas en los resultados obtenidos en las dos ocasiones (grado de estabilidad), se hizo un estudio de contraste mediante la prueba *U de Mann-Whitney* (tabla 7.11). Esta prueba reveló que no existían diferencias significativas ($p > 0,05$) en los niveles de conocimiento declarados por los alumnos de cada grupo. Ello nos indicaba que en el alumnado investigado existe un patrón consistente de ideas y razonamientos respecto a los conceptos y fenómenos estudiados. Además, nos permitió tratar a los dos grupos como uno sola muestra, formada por 60 alumnos, en aras de realizar un análisis global y cualitativo de las ideas y razonamientos de los alumnos.

(N=60)	Cuest 1	Cuest 2	Cuest 3	Cuest 4	Cuest 5	Cuest 6	Cuest 8	Cuest 9
U de Mann-Whitney	407,00	437,00	380,00	441,50	404,00	419,50	444,00	426,50
Z	-0,616	-0,133	-1,047	-0,063	-0,651	-0,404	-0,024	-0,325
Nivel de significación	0,538*	0,894*	0,295*	0,950*	0,515*	0,686*	0,981*	0,745*

* Diferencias no significativas con $p > 0,05$.

Tabla 7.11.- Prueba U de Mann-Whitney para la medida de estabilidad de los resultados obtenidos con la prueba escrita, aplicada en dos ocasiones.

Respecto a la consistencia interna de la prueba, se realizó un análisis estadístico de correlación mediante los coeficientes *Tau-b de Kendall* y *Spearman*, para variables ordinales. Los resultados del análisis se recogen en la tabla 7.12, donde se observa que, para un nivel de significación del 5% ($\alpha = 0,05$), la correlación entre los niveles de conocimiento declarados en la pareja de cuestiones 1-2 es significativa ($p < 0,05$). En el resto de parejas, la correlación es significativa para un nivel de significación del 1% ($p < 0,01$). Estos resultados, junto a los de estabilidad, ponen de manifiesto la consistencia interna de la prueba, y, a consecuencia de ello, su fiabilidad; tanto del diseño de las cuestiones como del inventario de corrección y categorización de niveles de conocimiento establecidos (Anexo II).

En relación con la validez de la prueba escrita (Anexo I), precisamos que no se hizo ninguna comprobación analítica de ello. Entendemos que los procedimientos y estrategias de validación empleados en el diseño de la prueba escrita –indicados en el diseño empírico (capítulo 6)–, ofrecen garantías suficientes de la validez interna de la misma. Ello se pone de

manifiesto en la medida que la prueba nos permitió evaluar lo que deseábamos evaluar (niveles de conocimiento alcanzados por los alumnos), según los objetivos y criterios de evaluación establecidos (validez de contenido), y de la manera en que se intentaba evaluar; esto es, mediante la categorización de los niveles de conocimiento alcanzados por los alumnos, de acuerdo con el inventario de corrección (validez de constructo).

PAREJAS DE CUESTIONES	PRUEBA DE CORRELACIÓN TAU-B DE KENDALL		PRUEBA CORRELACIÓN DE SPEARMAN	
	Coefficiente de correlación	Nivel de significación	Coefficiente de correlación	Nivel de significación
1-2	0,248*	0,031	0,275*	0,033
2-4	0,377**	0,001	0,428**	0,001
3-4	0,437**	0,000	0,487**	0,000
5-7	0,536**	0,000	0,603**	0,000
5-8	0,339**	0,003	0,381**	0,003
7-8	0,439**	0,000	0,480**	0,000

* Correlación significativa para un nivel de significación de 0,05 ($p < 0,05$).
 ** Correlación significativa para un nivel de significación de 0,01 ($p < 0,01$).

Tabla 7.12.- Correlación entre las respuestas a cuestiones relacionadas en la prueba escrita.

Cuestión	Nivel mínimo	Nivel máximo	Nivel representativo (mediana)
1	1	4	3,0
2	1	4	3,0
3	1	4	3,0
4	1	4	3,0
5	1	4	3,0
6	1	4	3,0
7	1	4	3,0
8	1	4	2,0
(N=60)			

Tabla 7.13.- Análisis descriptivo, basado en el cálculo de la mediana, para determinar el nivel más representativo del conocimiento manifestado por los alumnos en el cuestionario.

Comprobadas la validez y fiabilidad de la prueba, hicimos una estimación global y cuantitativa de los niveles de conocimiento manifestado por los alumnos. Para ello, averiguamos cuál era el nivel más representativo del conocimiento demostrado por el alumnado en cada una de las cuestiones.

Teniendo en cuenta el carácter ordinal de la escala, optamos por calcular el valor de la mediana en cada una de las cuestiones (tabla 7.13). Observamos que en todas ellas, salvo en la cuestión 8, el nivel de conocimiento se situó en un valor de 3. Con este resultado, y desde una perspectiva general, podemos decir que los alumnos adquirieron ideas y argumentos científicos en la línea adecuada, aunque con ciertas equivocaciones e imprecisiones respecto a las ideas aceptadas científicamente.

En lo que sigue, describimos y analizamos las ideas y modos de razonamiento más habituales de los alumnos, en relación con los tópicos tratados en el cuestionario.

‘Cuestión 1. Configuración electrónica de un semiconductor intrínseco y su comportamiento a temperatura ambiente’

Con la *cuestión 1* pretendimos comprobar si los alumnos eran capaces de reconocer a un material semiconductor, a partir de la configuración electrónica de sus elementos, y explicar su comportamiento eléctrico atendiendo a la capa de valencia. Obtuvimos, que algo menos de un 10% de los alumnos dejó su respuesta en blanco (nivel 1), mientras que cerca del 20% contestó de manera inadecuada (nivel 2), pensando que el comportamiento eléctrico intermedio de los semiconductores, a temperatura ambiente, se debe a que tienen, simultáneamente, las propiedades de conductores y de aislantes (*dualidad conductor-aislante*):

Nivel 2: «[...] porque es un semiconductor, por lo cual tiene la mitad de aislante y mitad de conductor, entonces es mejor conductor que los aislantes (no metales) y peor conductor que los conductores (metales).» [ROCÍO].

Los niveles de conocimiento más altos fueron alcanzados por cerca del 50%, para el nivel 3, y entorno a un 25% para el nivel 4. Estas fueron algunas de las respuestas de dichos niveles:

Nivel 3: «He elegido esta opción [opción c] porque es un semiconductor y, según lo estudiado, al tener un comportamiento intermedio es mejor conductor que los no metales y peor conductor que los metales.» [ALEJANDRO; no-cursiva añadida].

Nivel 4: «Elijo la opción c). El elemento es un semiconductor porque tiene 4 electrones en su última capa. Como para ser estable le es igual de fácil o difícil perderlos que ganarlos, sus electrones no se mueven con tanta libertad como en los conductores ni están tan agarrados como en los aislantes.» [M^a JOSÉ].

‘Cuestión 2. Comportamiento eléctrico de un semiconductor intrínseco a altas temperaturas’

La comprensión de la variación de la resistividad de un semiconductor intrínseco con la temperatura fue analizada mediante la *cuestión 2*. Encontramos que en torno al 13% de los alumnos no supo qué contestar (nivel 1), y cerca de la mitad contestó incorrectamente (nivel 2). Como concepción alternativa, observamos una idea de uniformidad en el comportamiento eléctrico de diferentes tipos de materiales; concretamente, que el comportamiento de un semiconductor es el mismo que el de un material conductor a elevadas temperaturas:

Nivel 2: «Creo que es la opción c). Si tú le subes la temperatura a un semiconductor, tiene muchos electrones libres y se estorban, por eso conduce mal la electricidad, y se convierte en aislante.» [ÁLVARO].

Nivel 2: «Es la opción b) porque a altas temperaturas los átomos de todos los materiales están muy agitados y los electrones libres chocan con ellos, lo que dificulta su movilidad.» [CARMEN].

También, en el nivel 2, encontramos que los alumnos confunden la relación causa-efecto entre la temperatura y la resistividad en un semiconductor:

Nivel 2: «Es la opción a) porque los semiconductores al tener mayor resistividad disminuyen su temperatura [...]» [ANDRÉS].

El nivel 3 se situó en casi un 17%, aunque las respuestas de este nivel no fueron significativas para el análisis que estamos efectuando. El nivel más alto (nivel 4) fue alcanzado por algo más de un 23%. Un ejemplo de respuesta de este nivel:

Nivel 4: «La respuesta es la a). Si le aumentamos la temperatura, sus enlaces se romperán y se liberarán los electrones, lo que permitirá una mejor conducción de la electricidad. A temperatura normal [ambiente] los electrones están muy unidos [ligados]. En el metal, al aumentar la temperatura, también pasa lo mismo, se sueltan los electrones; pero a temperatura ambiente ya tiene muchos electrones sueltos, y si encima se liberan más [al subirle la temperatura], se creará un colapso y no conducirá bien la electricidad.» [JUAN JOSÉ; no-cursiva añadida].

‘Cuestión 3. Concepto de hueco’

Las concepciones sobre el concepto de hueco fueron estudiadas mediante la *cuestión 3*. Los niveles de respuestas más bajos se situaron en torno al 7%, para el nivel 1, y sobre el 30% para el nivel 2. La idea alternativa más frecuente consiste en no asumir que el hueco tenga asignada una carga positiva. Es decir, no entienden que esa propiedad es consecuencia del modelo de semiconductor empleado. Ejemplos de respuestas donde se pone de manifiesto dicha concepción alternativa:

Nivel 2: «Los huecos no poseen carga eléctrica porque en realidad un hueco no existe y, por tanto, no tiene carga.» [JESÚS].

Nivel 2: «Los huecos no poseen carga, son los electrones y los protones los que la tienen; lo que pasa es que cuando se libera un electrón, deja su hueco en el enlace [...]» [ALEX].

Otra idea alternativa consiste en creer que el hueco tiene existencia aún después de producirse el proceso de recombinación, como si fuese una especie de “funda” del electrón, que adquiere la carga de este último:

Nivel 2: «Los huecos no poseen carga eléctrica, pero cuando son ocupados por los electrones cogen la carga de éstos.» [ÁNGELA].

Nivel 2: «Los huecos por sí mismos no poseen carga eléctrica, la única carga que adquieren es la del electrón que lo ocupa [...]» [ANA; no-cursiva añadida].

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

Nivel 3: *«Yo creo que tienen carga, y además positiva, porque así, en el proceso de recombinación atrae a los electrones, ya que si fuese negativo, repelería a los electrones.»* [LUIS].

Nivel 3: *«Los huecos poseen la misma carga que los electrones, pero de signo positivo, ya que el electrón ocupa el sitio del hueco, entonces se atraen; cargas de distinto signo se atraen y quedan ligados.»* [FEDE].

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

Nivel 4: *«Se suele decir que los huecos tienen carga positiva porque siempre van en sentido contrario que los electrones (negativos), pero los dos tienen el mismo valor de carga. Esa carga positiva del hueco no existe, pero al poner en un extremo [del semiconductor] un polo positivo y al otro un polo negativo [aplicación de un voltaje], los electrones se irán hacia el polo positivo y los huecos al negativo. Por eso decimos que tienen 'carga positiva'.»* [CRISTINA; no-cursiva añadida].

'Cuestión 4. Generación de pares electrón-hueco'

Aunque los alumnos hacen alusión al proceso de generación en las explicaciones de las cuestiones anteriores, este fenómeno se estudió de forma explícita en la *cuestión 4*. Algo menos de un 13% de los alumnos no contestó a la cuestión planteada (nivel 1), y un 20% lo hizo de forma inapropiada (nivel 2); si bien, en este caso no se observó ninguna concepción alternativa predominante y que merezca ser comentada.

El nivel 3 fue logrado por casi un 27% de los alumnos. Un sector de este nivel, aunque indicó que en el proceso de generación aparece un par electrón-hueco, no lo diferencia claramente del proceso de recombinación:

Nivel 3: *«En el proceso de generación aparece un par electrón-hueco. Es el proceso en el que un electrón libre pasa a ocupar un hueco dejado por otro electrón anteriormente.»* [JAVI].

El nivel de conocimiento más alto (nivel 4) fue alcanzado por algo más de un 40% de los alumnos. Como ejemplo de respuesta de este nivel, citamos el siguiente:

Nivel 4: *«En este proceso aparece un par electrón-hueco en el semiconductor porque el electrón, al recibir la energía de ionización, rompe el enlace. Al quedar el electrón libre deja un hueco en el enlace, y así se genera un par electrón-hueco.»* [ELENA].

'Cuestión 5. Generación de un electrón libre en un semiconductor mediante dopado'

Las concepciones referidas al dopado con impurezas donadoras, fueron investigadas a través de la *cuestión 5*. Obtuvimos que casi un 20% de los alumnos no contestó a la cuestión (nivel 1), y cerca del 17% se confundió (nivel 2). Observamos que los alumnos, además de confundir las impurezas donadoras y aceptoras, no comprenden bien el proceso de dopado; creen que es idéntico al proceso de generación de un par electrón-hueco. Por tanto, cuando se genera un hueco mediante dopado, piensan que también se consigue un electrón libre. Esta concepción alternativa se pone de relieve en la siguiente explicación:

Nivel 2: «Al meterle impurezas donadoras se generan huecos, que producirán también electrones libres. Se generan como en un semiconductor intrínseco.» [LAURA].

Otra idea alternativa es la creencia de que el proceso de dopado consiste en subir la temperatura del semiconductor, con objeto de liberar electrones y bajar su resistividad, tal como ocurre en los semiconductores intrínsecos:

Nivel 2: «[...] porque con el dopado sube la temperatura y así baja la resistividad.» [GLORIA].

También se detecta la idea de que el dopado de un semiconductor con impurezas donadoras consiste en introducir directamente electrones. Además, en este contexto, se detecta la idea de que los huecos son una especie de "defectos" de la red cristalina del semiconductor, que deben ser corregidos mediante impurezas donadoras:

Nivel 2: «El dopado de un semiconductor consiste en meter electrones libres para rellenar huecos que hay en un semiconductor.» [BEGOÑA].

El nivel 3 fue alcanzado por algo más de un 20% de los alumnos, y se caracteriza por justificaciones incompletas; por ejemplo, no se aclara qué características deben tener las impurezas donadoras:

Nivel 3: «Pues si a un semiconductor intrínseco le añades átomos de otro material, con un mayor número de electrones de valencia que los átomos del semiconductor intrínseco, se generaría un electrón libre.» [SANTI].

El nivel 4 fue conseguido por un 43% de los alumnos, que justificaron apropiadamente sus respuestas. Un ejemplo de este tipo de respuestas es la que sigue:

Nivel 4: «Cuando dopamos a un sólido covalente de germanio, por ejemplo con átomos de antimonio, generamos más electrones libres que huecos. Esto sucede porque el antimonio tiene 5 electrones de valencia y sólo puede compartir 4 con los átomos de germanio que lo rodean; por eso le sobra uno, que pasará a ser electrón libre.» [El alumno añade un esquema similar a la figura 6] [SAMUEL].

'Cuestión 6. Concepto de semiconductor extrínseco tipo p'

A través de la *cuestión 6* intentamos averiguar si los alumnos habían comprendido cómo se obtiene un semiconductor extrínseco tipo *p*. El 10% de los alumnos dejó su respuesta en blanco (nivel 1), y sobre un 23% contestó de manera equivocada (nivel 2). Una de las concepciones alternativas más frecuentes es que los huecos participan en la neutralidad

eléctrica de los semiconductores, como si fuesen cargas físicas (reales); es decir, creen que los semiconductores tipo p están cargados positivamente:

Nivel 2: «*Los semiconductores tipo p son semiconductores de carga positiva, y las impurezas aceptoras son las que originan huecos dentro del semiconductor. Por eso, al tener más huecos que electrones, estará cargado positivamente.*» [DANI].

El nivel 3 es alcanzado por la tercera parte de los alumnos, que eligen la opción correcta, pero en su justificación cometen algunas equivocaciones. Al igual que con el dopado de impurezas donadoras, algunos alumnos piensan que las impurezas aceptoras son, directamente, huecos y no átomos trivalentes:

Nivel 3: «*[...] porque las impurezas aceptoras son huecos y tienen carga positiva, entonces al darle impurezas aceptoras hay más portadores de carga positiva [...].*» [PACO].

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

Nivel 4: «*[...] Se introducen impurezas aceptoras porque tienen 3 electrones de valencia; entonces, al tener los átomos del semiconductor un electrón de valencia más, al enlazarse con las impurezas, quedan huecos en la estructura del semiconductor. Entonces tiene más huecos que electrones libres, y, por eso, se llama semiconductor extrínseco tipo p (de 'positivo').*» [PATRICIA].

'Cuestión 7. Balance de portadores de carga en un semiconductor extrínseco tipo n '

La *cuestión 7* se planteó con el objetivo de analizar las ideas del alumnado sobre los portadores de carga en un semiconductor extrínseco tipo n . Los niveles más bajos fueron expresados por cerca de un 7%, con nivel 1, y un 30% con nivel 2. Se vuelve a detectar la idea de que un semiconductor extrínseco está cargado eléctricamente y que, por tanto, un semiconductor tipo n está cargado negativamente:

Nivel 2: «*Porque un semiconductor tipo n , tiene mayor número de electrones, que están cargados negativamente, y menos huecos, que son positivos. Por tanto, [el semiconductor] queda con carga negativa.*» [ÁLVARO; no-cursiva añadida].

El nivel 3 fue alcanzado por un 23% del alumnado, mientras que el nivel 4 fue logrado por el 40%. Ejemplo de respuesta del nivel 4:

Nivel 4: «*Los semiconductores de tipo n se forman al dopar un semiconductor intrínseco con impurezas donadoras (5 electrones de valencia). Éstas originan un electrón libre y, por ello, al tener más electrones libres que huecos, se le dice tipo n (de negativo). Como tiene más electrones que huecos, se dice que éstos (los electrones) son los portadores mayoritarios y lo huecos los minoritarios.*» [ISRAEL].

'Cuestión 8. Estado eléctrico de un semiconductor extrínseco'

Con la *cuestión 8* pretendimos comprobar qué concepciones tenían los alumnos sobre el estado eléctrico de un semiconductor dopado con

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

Nivel 2: *«No, porque si a un semiconductor intrínseco le introducimos dos impurezas donadoras, se generan dos electrones libres, por lo tanto habrá mayor número de electrones que de huecos; por esto no continúa siendo eléctricamente neutro.»* [AMADEO].

Asimismo, justifican la no neutralidad eléctrica de un semiconductor extrínseco, como ya se detectó en la cuestión 5, identificando las impurezas donadoras con electrones libres:

Nivel 2: *«No, ya que cambiaría su configuración y pasaría a ser negativo, porque las impurezas donadoras son electrones.»* [ÁNGELA].

El nivel 3 fue alcanzado por un 10% de los alumnos, y el nivel más alto (nivel 4) por cerca de un 20%. En este último se emitieron respuestas como la que sigue:

Nivel 4: *«Sí, porque aunque al dopar el semiconductor tenga más electrones libres que huecos, como en este caso, el número de electrones y de protones sigue siendo el mismo; y eso es lo que de verdad importa para la neutralidad. Los átomos (impurezas) que se introducen son de por sí neutros, entonces el semiconductor seguirá siendo neutro.»* [CRISTINA].

En líneas generales, y a la vista de los porcentajes de respuestas acumulados en los niveles 3 y 4 (tabla 7.14), se deduce que el nivel de conocimientos que los alumnos han alcanzado, según sus respuestas al cuestionario, es satisfactorio y similar en la mayoría de las cuestiones; excepto en dos de ellas. El primer caso se refiere al comportamiento de un semiconductor a altas temperaturas (cuestión 2), cuyo mecanismo microscópico es concebido por los alumnos de forma idéntica a la de un material conductor. El segundo, corresponde al estado eléctrico de un semiconductor dopado (cuestión 8), que destaca como uno de los conceptos más difíciles de asimilar para estos alumnos. Pero si atendemos a los porcentajes correspondientes a los niveles máximos de conocimiento (nivel 4), encontramos que la comprensión adecuada del concepto de hueco (cuestión 3) es la que mayor dificultad plantea a los alumnos. Dicho concepto, junto a los dos fenómenos anteriores, origina en los alumnos la afloración de concepciones que compiten fuertemente con las aceptadas científicamente.

2.2.2. Análisis de entrevistas personales sobre nociones básicas de Física de Semiconductores

Con el fin de complementar la información obtenida mediante la prueba escrita, entrevistamos a un total de 22 alumnos, escogidos al azar, durante los dos cursos escolares. En las entrevistas planteamos diversas cuestiones

relativas al comportamiento de los semiconductores, en la línea de las realizadas en la prueba. Éstas se hicieron dos semanas después de haber concluido el proceso de enseñanza/aprendizaje. Empleamos, para ello, el método de entrevista dirigida, con objeto de extraer la máxima información acerca de las ideas y razonamientos adquiridos por los alumnos. Observamos, prácticamente, las mismas ideas y argumentaciones que las detectadas mediante el cuestionario; lo cual corroboraba, de alguna manera, la existencia de un marco consistente de concepciones en los alumnos sobre el tema estudiado.

	Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	Nivel 4	(Nivel 3)+(Nivel 4)
Cuest 1	9,0	19,0	47,5	24,5	72,0
Cuest 2	13,4	46,4	16,7	23,5	40,2
Cuest 3	6,8	31,0	48,5	13,7	62,2
Cuest 4	12,6	20,0	26,8	40,6	67,4
Cuest 5	19,7	16,7	20,6	43,0	63,6
Cuest 6	10,0	23,5	32,4	34,1	66,5
Cuest 7	6,8	30,0	23,0	40,2	63,2
Cuest 8	10,0	60,3	10,0	19,7	29,7

Tabla 7.14.- Distribución de frecuencias (%) en cada uno de los niveles de respuestas en la prueba escrita, y frecuencias acumuladas en los niveles de respuesta más altos (niveles 3 y 4).

Debemos decir, además, que el orden de dificultad observado en los diferentes tópicos investigados fue el mismo que el detectado mediante el cuestionario, destacando las dificultades relativas al comportamiento de los semiconductores a altas temperaturas, al concepto de hueco y al proceso de dopado. Con el fin de ser representativos, al respecto, pasamos a describir algunos de los argumentos y explicaciones de los alumnos acerca de dichos tópicos.

Al explicar la liberación de electrones en un semiconductor, se confirma que los alumnos confunden la relación causa-efecto entre la temperatura y la resistividad:

- *Profesor: ¿Por qué un semiconductor conduce bien la electricidad a altas temperaturas?*
- *Carlos: El semiconductor al... al estar a temperatura ambiente tiene pocos electrones libres, entonces al subirle la resistividad también sube la temperatura, de forma que se producen más electrones libres, y huecos también [...].*

También se observa la concepción de que los semiconductores tienen el mismo comportamiento eléctrico que los materiales conductores, ante cambios de temperatura:

- *Profesor: ¿Por qué un semiconductor conduce bien la electricidad a altas temperaturas?*

- *Luis: No es eso, si le aumentamos la temperatura a un semiconductor se convierte en aislante. Es como si desaparecieran los electrones y por eso es peor conductor.*
- *Profesor: Entonces, a bajas temperaturas ¿cómo se comporta un semiconductor?*
- *Luis: Se convierte en buen conductor [...].*

Los niveles más altos de comprensión fueron expresados del modo siguiente:

- *Profesor: ¿Por qué un semiconductor conduce bien la electricidad a altas temperaturas?*
- *Cris: Porque a altas temperaturas, los electrones [del semiconductor], que estaban bien ligados a los átomos, comienzan a vibrar y se sueltan cuando alcanzan la energía de ionización. Esto hace que haya más electrones para formar una corriente eléctrica. [No-cursiva añadida]*

En relación con el concepto de hueco, reaparece la idea de hueco como “funda” del electrón:

- *Profesor: ¿Qué es un hueco en un semiconductor?*
- *Cristina: Es donde estaba el electrón; en verdad no hay nada, es como su cavidad.*

Igualmente, se verifica que hay parte del alumnado que no acaba de asumir la existencia del hueco como consecuencia del modelo de semiconductor utilizado:

- *Profesor: ¿Qué es un hueco en un semiconductor?*
- *Javier: El hueco es como si fuera una invención nuestra. En realidad no existe, bueno, existe pues hay un hueco, pero...; es difícil de entender.*

Se detecta, también, la concepción del proceso de recombinación como una interacción electrostática entre un electrón y un hueco:

- *Profesor: ¿Tienen carga eléctrica los huecos?*
- *Isra: Sí. Los huecos... poseen la misma carga que los electrones, pero positiva, porque... el electrón ocupa el sitio del hueco, entonces se atraen. Las cargas de distinto signo se atraen y por eso quedan ligados.*

Las concepciones correctas sobre las propiedades de los huecos fueron argumentadas de modo similar al siguiente:

- *Profesor: ¿Qué es un hueco en un semiconductor?*
- *Carlos: Es la carga..., bueno, se le atribuye una carga positiva.*
- *Profesor: ¿Se mueve un hueco?*
- *Carlos: Sí.*
- *Profesor: ¿Cómo se mueve?*
- *Carlos: Por ejemplo, tenemos aquí [señala un punto de la mesa con el dedo] un espacio libre, un hueco, y aquí un electrón, y este electrón libre se va al hueco, podemos decir entonces que el electrón libre se ha movido o que el hueco se ha movido [señala con el dedo el recorrido del hueco, en sentido contrario al que indicó para el electrón libre].*

- *Profesor: ¿Es lo mismo un hueco que un protón?*
- *Carlos: No. El protón sí tiene carga eléctrica positiva verdadera; al hueco se le atribuye, pero no tiene carga real.*

Respecto al proceso de dopado, se detecta, también, la concepción alternativa de que el mismo consiste en introducir electrones al semiconductor:

- *Profesor: ¿En qué consiste el proceso de dopado de un semiconductor? ¿Con qué fin se realiza?*
- *Israel: Es... cuando a un semiconductor intrínseco se le incorporan impurezas; es decir, que ya no es puro.*
- *Profesor: ¿Y qué son esas impurezas?*
- *Israel: Esas impurezas... esas impurezas... pues son electrones de otros átomos.*

Se vuelve a detectar la concepción equívoca de considerar que el proceso de dopado se realiza con el fin de electrizar al semiconductor [ruptura de su estado eléctrico neutro]:

- *Profesor: ¿En qué consiste el proceso de dopado de un semiconductor?*
- *Patricia: Pues... pues que a un semiconductor intrínseco se le introducen impurezas.*
- *Profesor: ¿Y estas impurezas qué son?*
- *Patricia: Son átomos que en su última capa tienen tres o cinco electrones.*
- *Profesor: ¿Con qué fin se dopa un semiconductor?*
- *Patricia: Pues para cargarlo eléctricamente.*

Las respuestas consideradas como correctas, en relación con el proceso de dopado, fueron expresadas del modo siguiente:

- *Profesor: ¿En qué consiste el proceso de dopado de un semiconductor? ¿Con qué fin se realiza?*
- *Elena: Pues... tú tienes en un material semiconductor intrínseco el mismo número de electrones y de huecos, y como tú no puedes conseguir más huecos que electrones, porque si no, lo que estás haciendo es cargarlo [eléctricamente], y tú lo quieres neutro pero con distinto número de electrones que de huecos, entonces lo que hay que hacer es doparlo, introducirle impurezas, que son elementos que tengan tres ó cinco electrones de valencia. [No-cursiva añadida]*
- *Profesor: ¿Qué tipo de impurezas hay que introducir a un semiconductor puro (intrínseco) para obtener un semiconductor extrínseco tipo p?*
- *Elena: Pues las que tengan tres electrones de valencia como el boro. Porque... el enlace covalente se hace con... Verás, tú tienes el átomo de germanio, que tiene cuatro electrones de valencia, y tienes que unirlo con cuatro átomos de germanio para que comparta sus 4 electrones de valencia, dos a dos, y en total tenga ocho. Pero si tú metes uno con tres electrones de valencia, tiene sólo tres electrones para compartir. Como tiene que haber un electrón en cada par de enlace, pues en uno de los cuatro enlaces faltará uno, y esa es la vacante [hueco]. [No-cursiva añadida]*

Los resultados de las entrevistas corroboran lo que ya se había dicho en el análisis de los datos del cuestionario, respecto a los conceptos y fenómenos que presentaron más dificultades para nuestros alumnos.

2.3. Evaluación global del proceso de enseñanza/aprendizaje

2.3.1. Resultados obtenidos mediante el cuestionario de encuesta

A través del cuestionario de encuesta (Anexo III), se trató de conocer la opinión del alumnado acerca de todos los aspectos del proceso de enseñanza/aprendizaje desarrollado (evaluación global y sumativa). El cuestionario estaba compuesto por 23 declaraciones, organizadas en seis principios o categorías: a) Intencionalidad del proceso de enseñanza/aprendizaje; b) Planificación del proceso de enseñanza/aprendizaje; c) Clima de clase durante el proceso de enseñanza/aprendizaje; d) Rendimiento escolar obtenido; e) Evaluación de los elementos intervinientes en el proceso de enseñanza/aprendizaje; y f) Estimación global del proceso de enseñanza/aprendizaje.

En la elaboración del cuestionario se tomó como referencia otro cuestionario (Rivas, 1997), cuya validez²⁸ (de constructo y de contenido) y fiabilidad han sido contrastadas en reiteradas ocasiones por los autores; no obstante, se estimó necesario hacer un análisis de su fiabilidad. El cuestionario utilizado en esta investigación es el resultado de un proceso de depuración, realizado sobre un cuestionario inicial más amplio. Fueron eliminados aquellos ítems que no aportaban la suficiente fiabilidad, con el fin de extraer conclusiones relevantes sobre el estudio realizado.

En primer lugar, se estudió la *consistencia interna* del cuestionario mediante un análisis de correlación de ítems. Para ello, se hizo un análisis de la correlación media entre todos los ítems del cuestionario, mediante el *coeficiente Alpha de Cronbach*. La prueba calcula el grado en que los ítems miden el mismo rasgo y con qué precisión lo hacen. Los resultados de la prueba (tabla 7.15) muestran un valor alto del coeficiente Alpha (0,8589), lo que indica que la correlación promedio entre los ítems es significativa.

Promedio	Varianza	Desviación estándar	Nº de variables (ítems)
93,0833	94,3828	9,7151	23
N = 60,0			
Coeficiente Alpha = 0,8589			

Tabla 7.15.- Análisis global de la fiabilidad del cuestionario de encuesta mediante el coeficiente Alpha de Cronbach.

Sin embargo, el coeficiente Alpha depende de otros factores, tales como el número de ítems o los sub-tests (categorías) subyacentes en el cuestionario. Por tal motivo, se estimó conveniente completar el análisis con

²⁸El cuestionario de referencia ha sido empleado por el autor, en múltiples ocasiones, para valorar la eficacia de procesos de enseñanza/aprendizaje en diferentes áreas de conocimiento y en distintos niveles educativos; de modo que se trata de un cuestionario suficientemente validado, con vistas a ser empleado en investigaciones sucesivas.

otros procedimientos estadísticos. Como en el cuestionario se diferencian seis categorías, o grupos de ítems referidos a un mismo aspecto, se estudió el grado de correlación entre los ítems de cada uno de las categorías, mediante el *coeficiente R de Pearson*. Los resultados del análisis se recogen en la tabla 7.16. Para niveles de significación del 1% ($\alpha=0,01$) y del 5% ($\alpha=0,05$), se observa que existe correlación entre todos los ítems de las categorías *Intencionalidad del proceso de enseñanza/aprendizaje* y *rendimiento escolar obtenido*, así como en el 80% de las parejas de ítems de la categoría *Planificación del proceso de enseñanza/aprendizaje*. En las categorías *Clima de clase durante el proceso de enseñanza/aprendizaje*, *Evaluación de los elementos intervinientes en el proceso educativo* y *Estimación global del proceso de enseñanza/aprendizaje*, se obtiene una correlación que oscila en torno al 70% de las parejas de ítems. Los resultados, junto al análisis global realizado mediante el coeficiente Alpha de Cronbach, ponen de manifiesto el alto grado de consistencia interna del cuestionario de encuesta elaborado.

En el estudio de la *estabilidad* de los resultados del cuestionario, se aplicó el *test de Levene*, con objeto de comprobar si existía homogeneidad en las varianzas de cada ítem, en las dos aplicaciones del cuestionario, y la prueba *t-test*, con el fin de comparar las puntuaciones promedios otorgadas por los alumnos a cada ítem, en las dos ocasiones. Los resultados de las dos pruebas se recogen en la tabla 7.17. Para niveles de significación del 1% ($\alpha=0,01$) y del 5% ($\alpha=0,05$), el test de Levene muestra que no existen diferencias significativas entre las varianzas obtenidas, en cada uno de los ítems del cuestionario, en las dos aplicaciones del cuestionario. Y los resultados del t-test, en la comparación de medias, ponen de manifiesto que no existen diferencias significativas en 21 de los 23 ítems (91,3% de los ítems) que componen en cuestionario. Luego, se está en condiciones de concluir que existe estabilidad en los resultados obtenidos con el cuestionario en dos ocasiones diferentes. Los resultados, junto a los obtenidos en el análisis de la consistencia interna, confirman la fiabilidad del cuestionario empleado.

Como se observó estabilidad en los resultados, obtenidos en las dos aplicaciones del cuestionario (tabla 7.17), en el análisis de las opiniones de los alumnos se consideró a los dos grupos como parte de una sola muestra (N=60). Los resultados de este análisis se muestran en la tabla 7.18.

En relación con la *intencionalidad del proceso de enseñanza/aprendizaje*, la mayoría del alumnado manifiesta haber tenido claros los objetivos de aprendizaje y los aspectos científicos fundamentales de la Física de Semiconductores. Ello confirma el alto grado de eficacia de las estrategias empleadas en la transferencia de los objetivos a los alumnos, con vistas a favorecer la autorregulación de su aprendizaje. Es algo inferior el porcentaje de alumnos (51,7%) que reconocen el gran interés del tema estudiado.

Con respecto a la *planificación del proceso de enseñanza/aprendizaje*, la mayoría del alumnado manifiesta sentirse bastante satisfecho con el planteamiento que se ha hecho del tema y con la metodología empleada en su desarrollo en el aula. El alumnado valora positivamente el apoyo y la atención individualizada recibida del profesor, durante todo el proceso educativo.

En cuanto al *clima del aula*, la mayoría del alumnado constata que se ha valorado y potenciado, en gran medida, la participación en clase durante las puestas en común. El alumnado ha percibido un buen ambiente de trabajo y de colaboración entre compañeros, en la realización de las actividades, y con el profesor, a la hora de establecer fechas de las pruebas escritas, de entrega del cuaderno o carpeta, etc.

Referente al *rendimiento escolar obtenido*, la mayoría del alumnado considera que las tareas y contenidos propuestos, sobre Física de Semiconductores, son adecuados a sus capacidades cognitivas, y que la temporización establecida para su estudio ha sido adecuada. Sólo algo más de la mitad del alumnado reconoce que ha tomado notas y apuntes durante las explicaciones en clase. Una parte considerable del alumnado indica que ha practicado poco la tarea de anotar preguntas o dudas, mientras estudiaba, con el propósito de consultarlas al profesor o comentarlas con algún compañero. Lo último está en consonancia con la falta de hábitos y técnicas de estudio, existentes actualmente en el alumnado de ESO.

En lo relativo a la *evaluación de los elementos intervinientes en el proceso educativo*, la mayoría del alumnado manifiesta la gran utilidad de las puestas en común de las actividades, y de las correcciones de las pruebas escritas, a la hora de subsanar errores y comprender mejor los contenidos (evaluación formativa). Es decir, valoran positivamente la validez del proceso de *autorregulación* del aprendizaje desarrollado durante el estudio de los módulos (evaluación formadora). Consideran que las pruebas escritas han tenido coherencia con el nivel y tratamiento de los contenidos estudiados en el aula (evaluación sumativa de cada módulo); un hecho que pone de manifiesto, nuevamente, la eficacia del proceso de transferencia los objetivos didácticos, orientado a favorecer el proceso de autorregulación.

Como *estimación global del proceso de enseñanza/aprendizaje*, la mayoría del alumnado opina que ha existido una alta correlación entre los objetivos previstos (proporcionados con antelación por el profesor) y los contenidos estudiados en el aula, y que ello ha favorecido su aprendizaje. También se destaca la eficacia de la metodología de trabajo, de los materiales didácticos empleados (módulos didácticos) y del clima del aula, en el aprendizaje de nociones de Física de Semiconductores.

Sub-tests del cuestionario	Parejas de ítems	Coefficiente R de Pearson	Nivel de signif. (p)
Intencionalidad del proceso de enseñanza/aprendizaje	1.1-1.2	0,324*	0,012
	1.1-1.3	0,259*	0,046
	1.2-1.3	0,274*	0,034
Planificación del proceso de enseñanza/aprendizaje	2.1-2.2	0,571**	0,000
	2.1-2.3	0,429**	0,001
	2.1-2.4	0,303*	0,019
	2.1-2.5	0,154***	0,241
	2.2-2.3	0,268*	0,000
	2.2-2.4	0,405**	0,001
	2.2-2.5	0,181***	0,165
	2.3-2.4	0,348**	0,006
	2.3-2.5	0,343**	0,007
Clima de clase durante el proceso de enseñanza/aprendizaje	3.1-3.2	0,288*	0,026
	3.1-3.3	0,279*	0,031
	3.2-3.3	0,041***	0,757
Rendimiento escolar obtenido	4.1-4.2	0,557**	0,000
	4.1-4.3	0,387**	0,002
	4.1-4.4	0,599**	0,000
	4.2-4.3	0,489**	0,000
	4.2-4.4	0,396**	0,002
	4.3-4.4	0,317*	0,014
Evaluación de los elementos intervinientes en el proceso educativo	5.1-5.2	0,348**	0,006
	5.1-5.3	-0,227***	0,081
	5.2-5.3	-0,392**	0,002
Estimación global del proceso de enseñanza/aprendizaje	6.1-6.2	0,322*	0,012
	6.1-6.3	0,046***	0,726
	6.1-6.4	0,272*	0,035
	6.1-6.5	0,166***	0,206
	6.2-6.3	0,466**	0,000
	6.2-6.4	0,333**	0,009
	6.2-6.5	0,269*	0,038
	6.3-6.4	0,319*	0,013
	6.3-6.5	0,090***	0,493
6.4-6.5	0,277*	0,032	
* Correlación significativa a un nivel de significación del 5% (p<0,05).			
** Correlación significativa a un nivel de significación del 1% (p<0,01).			
*** No existe correlación significativa.			

Tabla 7.16.- Estudio del grado de correlación entre ítems de cada categoría del cuestionario de encuesta, mediante el coeficiente R de Pearson.

Nº Ítem	Test de Levene para la comparación de varianzas		t- test para la comparación de medias				
	F	Nivel de signif.	t	g.l.	Nivel de signif.	Dif. de la media	Error estándar de la dif.
1.1	0,320	0,574*	0,888	58	0,378*	0,16	0,182
1.2	1,305	0,258*	0,456	58	0,650*	0,10	0,221
1.3	0,519	0,474*	1,325	58	0,191*	0,25	0,188
2.1	1,734	0,193*	0,784	58	0,436*	0,14	0,176
2.2	1,419	0,238*	0,635	58	0,528*	0,14	0,217
2.3	0,220	0,641*	2,497	58	0,015**	0,47	0,189
2.4	0,377	0,542*	1,375	58	0,174*	0,27	0,198
2.5	0,017	0,897*	3,041	58	0,004***	0,53	0,174
3.1	3,847	0,055*	2,363	58	0,021**	0,62	0,261
3.2	0,023	0,881*	1,998	58	0,050*	0,43	0,214
3.3	2,450	0,123*	2,160	58	0,035**	0,49	0,229
4.1	4,699	0,034**	1,571	58	0,122*	0,37	0,234
4.2	0,073	0,788*	-0,928	58	0,357*	-0,26	0,279
4.3	0,383	0,538*	1,261	58	0,212*	0,42	0,334
4.4	0,317	0,576*	1,627	58	0,109*	0,35	0,215
5.1	1,202	0,277*	0,242	58	0,810*	0,04	0,181
5.2	0,558	0,458*	0,968	58	0,337*	0,23	0,236
5.3	0,184	0,670*	-0,855	58	0,396*	-0,24	0,276
6.1	0,328	0,569*	-1,372	58	0,175*	-0,24	0,174
6.2	3,567	0,064*	0,063	58	0,950*	0,01	0,160
6.3	4,701	0,034**	3,045	58	0,003***	0,74	0,244
6.4	0,194	0,661*	0,731	58	0,467*	0,13	0,175
6.5	0,007	0,934*	0,753	58	0,455*	0,14	0,192

* No existen diferencias significativas para un nivel de significación del 5% ($p > 0,05$).

** No existen diferencias significativas para un nivel de significación del 1% ($p > 0,01$).

*** Existen diferencias significativas para un nivel de significación del 1% ($p < 0,01$).

Tabla 7.17.- Análisis estadístico de la estabilidad de los resultados del cuestionario de encuesta, medidos en dos ocasiones, mediante el test de Levene y t-test no pareado.

Relación de ítems (Puntuación: 1 [nada de acuerdo] → 5 [total acuerdo])	Porcentajes más significativos del grado de acuerdo
1.1 Has tenido muy claro qué objetivos de aprendizaje tenías que conseguir a través del estudio de los módulos.	50% (bastante de acuerdo) 31% (totalmente de acuerdo)
1.2 El tema estudiado con los módulos (Física de Semiconductores) te ha parecido muy interesante.	51,7% (bastante de acuerdo)
1.3 Has captado de una manera muy clara los aspectos fundamentales del tema estudiado.	26,7% (bastante de acuerdo) 51,7% (totalmente de acuerdo)
2.1 El planteamiento que ha hecho el profesor del tema, ha sido favorable para su comprensión.	33,3% (bastante de acuerdo) 60% (totalmente de acuerdo)
2.2 Los métodos de enseñanza empleados en el estudio de los módulos han favorecido positivamente tu aprendizaje.	68,3% (totalmente de acuerdo)
2.3 Durante el estudio de los módulos no te has sentido perdido, sino apoyado y guiado por las orientaciones del profesor.	53,3% (bastante de acuerdo) 25% (totalmente de acuerdo)
2.4 El diseño de las actividades y los métodos empleados por el profesor en el estudio de los módulos te han facilitado siempre la comprensión de lo estudiado.	43,3% (bastante de acuerdo) 38,3% (totalmente de acuerdo)
2.5 Las orientaciones y tareas planteadas por el profesor, para el estudio del tema, te han ayudado a completarlo, comprenderlo o ampliarlo.	53,3% (bastante de acuerdo) 30% (totalmente de acuerdo)
3.1 En clase ha existido un buen ambiente de colaboración entre los compañeros/as.	33,3% (bastante de acuerdo) 33,3% (totalmente de acuerdo)
3.2 Se ha valorado y potenciado la participación de los alumnos en clase durante las puestas en común de las actividades.	31,7% (bastante de acuerdo) 50% (totalmente de acuerdo)
3.3 Las relaciones entre el profesor y los alumnos para fijar fechas de exámenes, entrega de trabajos, etc., han sido fáciles.	46,7% (bastante de acuerdo) 28,3% (totalmente de acuerdo)
4.1 Las tareas y contenidos del tema, para alumnos de tu edad o capacidad, resultan adecuados.	41,7% (bastante de acuerdo) 31,7% (totalmente de acuerdo)
4.2 Mientras se daban explicaciones en clase, siempre has tomado notas y apuntes.	56,7% (totalmente de acuerdo)
4.3 Mientras estudiabas el tema, has escrito preguntas, dudas o sugerencias para consultarlas al profesor o comentarlas con algún compañero/a.	30% (poco de acuerdo) 25% (medianamente de acuerdo)
4.4 El tiempo que se ha dedicado al estudio de los módulos ha sido adecuado para su comprensión y dominio.	45% (bastante de acuerdo) 33% (totalmente de acuerdo)
5.1 La información recibida de la corrección y resultados de controles, actividades y preguntas de clase, te han servido para corregir errores y comprender mejor el tema.	38,3% (bastante de acuerdo) 50% (totalmente de acuerdo)
5.2 Las preguntas que se han planteado en las pruebas escritas no te han causado sorpresa.	36,7% (bastante de acuerdo) 41,7% (totalmente de acuerdo)
5.3 El nivel de exigencia para realizar las actividades y superar las pruebas escritas, no ha sido elevado.	36,7% (medianamente de acuerdo) 31,7% (bastante de acuerdo)
6.1 El profesor se ha centrado en lo esencial del tema, presentándolo de una manera atractiva, y los materiales de trabajo respondían muy bien a lo esencial; y ello te ha permitido interesarte y dar importancia a lo que tenías que aprender.	45% (bastante de acuerdo) 43,3% (totalmente de acuerdo)
6.2 El tema estaba bien estructurado por el profesor, los materiales y las actividades de trabajo eran asequibles, estaban bien delimitados y has podido organizar el trabajo de manera muy eficaz.	58,3% (bastante de acuerdo) 31,7% (totalmente de acuerdo)
6.3 El clima del trabajo en clase ha sido muy estimulante para el aprendizaje.	41,7% (bastante de acuerdo) 28,3% (totalmente de acuerdo)
6.4 Las indicaciones del profesor para trabajar, así como la propia temática tratada, te han llevado a poder comprender el tema.	46,7% (bastante de acuerdo) 41,7% (totalmente de acuerdo)
6.5 Las pruebas realizadas y el nivel de exigencia han sido los adecuados.	41,7% (bastante de acuerdo) 40% (totalmente de acuerdo)

Tabla 7.18.- Frecuencias (%) más significativas de las puntuaciones asignadas por los alumnos en el cuestionario de encuesta.

2.3.2. Análisis de las entrevistas personales

A fin de complementar la información recogida con el diario del profesor, los cuadernos de los alumnos, las pruebas escritas y el cuestionario de encuesta, se entrevistó, personalmente, a 22 alumnos (casi un 40% del total) pertenecientes a los dos cursos académicos. A través de éstas, se recabó información sobre los distintos aspectos del proceso educativo desarrollado con los módulos didácticos (opiniones sobre el tema de estudio, la metodología de trabajo, el diseño de los módulos didácticos, experiencia personal adquirida con el estudio de los módulos, etc.). Es destacable que la mayoría de las respuestas de los alumnos entrevistados fueron de interés, con vistas a obtener información valiosa del proceso global de enseñanza/aprendizaje desarrollado. En lo que sigue, se describen y analizan los resultados obtenidos en las entrevistas. Se exponen, para ello, numerosos fragmentos de respuestas de los alumnos, transcritos literalmente, a fin de proveer de credibilidad a los resultados.

Uno de los aspectos más valorados por los alumnos, en relación con la metodología de trabajo empleada, es el *aumento de su atención en clase*. Una adecuada concentración del alumno en clase es uno de los elementos esenciales para que el aprendizaje sea efectivo. Esto lo explican los alumnos de la manera que sigue.

Ángela: « [...] *tenías que estar muy atenta, no te podías entretener tanto como en otras clases; pero en verdad eso..., por otra parte, es bueno porque te enteras más de las cosas.*»

Rocío: « [...] *tú en una clase normal [con la metodología habitual] no estás siempre pendiente de lo que se dice; pero con ésta [metodología constructivista] tienes que estar todavía más pendiente, porque tienes que apuntar cosas y, a lo mejor si te explican una cosa tienes que ponerlo en tu cuaderno bien, porque además de tener que comprenderlo tú, tienes luego que entregárselo al profesor.*» [No cursiva añadida]

José Carlos: « [...] *tienes que prestar más atención en clase porque no te puedes perder. Por ejemplo, si estamos estudiando otra cosa, te pones a hablar con el compañero, pero aquí no; tienes que estar pendiente de coger lo que dice uno y otro para comprender mejor las actividades.*»

Otro aspecto, suficientemente valorado por los alumnos, es la *importante motivación que les ha producido la metodología empleada en el estudio de los módulos*; lo cual es uno de los condicionantes deseables y primordiales, con vistas a tener éxito en cualquier experiencia de innovación didáctica. La motivación de los alumnos se ha puesto de manifiesto a través de diferentes respuestas, como las que se detallan a continuación.

Javi: «*Lo que más me ha gustado... eh... que es una nueva forma de trabajar, distinta a todas las que hemos hecho antes; que todo el mundo se ha esforzado. Todo el mundo se ha metido más en la asignatura; todo el mundo... aunque no le salieran bien las cosas, se ha esforzado más y ha trabajado las actividades... se ha preocupado.*»

Miriam: «*Lo que más me ha gustado es que se ha evaluado más el trabajo diario que el examen. Porque... no sé, aunque tú te esfuerzas en hacer las actividades, también tienes que prestar más atención a lo que estás haciendo y a lo que se dice en clase. Entonces el examen, al final, te resulta más fácil.*»

Jesús: «*Lo que más me ha gustado es que se aprende; que la manera de estudiar no es tenerte que sentar en una mesa e hincar los codos, sino que haciendo las actividades te enteras de todo y es mucho más fácil.*»

Se valoran, positivamente, los diferentes aspectos que han propiciado el aprendizaje autónomo del alumnado. Uno de los aspectos es el *trabajo en equipo* desarrollado durante el proceso de enseñanza/aprendizaje, y el *fomento de la participación en clase*:

Alex: «*[...] se ha fomentado el trabajo en equipo porque tú, a lo mejor, si no cogías algo, te ponías con tú compañero: "a ver, ¿me puedes ayudar en esta actividad?". En otras clases [en el estudio de otros temas mediante la metodología tradicional] si no sabes algo, a lo mejor ni te molestas en preguntar, por lo menos yo. Yo veo que la gente se ha preocupado en preguntarle al compañero: "¡oye!, ¿esto cómo se hace, a ver?. Explicámelo". Y así todo el mundo.*» [No cursiva añadida]

Elena: «*[...] lo que me gusta es que se participa más en las clases y me entero más de lo que yo sé y de lo que saben los demás, y así entiendo yo más.*»

Dentro de las estrategias orientadas a impulsar el aprendizaje autónomo, los alumnos destacan el importante papel del *proceso de autorregulación* practicados durante el estudio de los módulos. Manifiestan que esta práctica les ha ayudado a comprender, de manera progresiva, los contenidos estudiados. Se pone, así, de relieve la *importancia del proceso de autorregulación en aras lograr un aprendizaje significativo*. Los resultados del proceso de autorregulación del aprendizaje eran registrados por los alumnos en sus cuadernos, a través de comentarios a modo de diario. Al respecto, los alumnos explican lo que sigue.

Cristina: «*Los comentarios son... para entender. Tú pones ahí todo lo que está pasando en la clase, y escribes tus dudas y de lo que te has enterado bien. Y cuando estás estudiándotelo es más fácil.*»

Rocío: «*[...] Yo ponía algunas cosas de las que se decían en clase y después ponía lo que yo opinaba y si me había parecido más o menos difícil.*»

Miriam: «*Yo lo que hacía era apuntar lo que la gente decía, apuntar lo que yo no entendía muy bien; si lo entendía, si me había resultado difícil o no; qué me había resultado difícil. A lo mejor en todas no hacía todo esto, pero en casi todas.*»

Israel: «*Yo ponía mis dudas, mis errores, y por qué me había equivocado; y, a la hora de llegar a los exámenes, me miraba el comentario y si yo había fallado en eso, pues sabía que no podía fallar otra vez. Entonces, al leerlo y saberlo, ya...ya lo hacía bien.*»

Antonio: «*Pues... cuando yo hacía una actividad y si me equivocaba, tenía que poner la corrección y escribir en el comentario en qué me había equivocado, en qué fallaba, y explicar bien todo esto; eso era lo más complicado.*»

A la hora de comparar la metodología empleada en el estudio de los módulos con la metodología tradicional, *los alumnos se inclinan por la metodología constructivista utilizada en los módulos didácticos, destacando que les hace más partícipes de su propio aprendizaje* (favorece el aprendizaje autónomo). Algunas de las explicaciones de los alumnos son las siguientes:

Elena: « [...] para mi es más fácil [la metodología constructivista]. Te exige más día a día, porque con la otra metodología [habitual] yo no trabajo día a día, las actividades las dejo pasar y, a lo mejor, las hago cinco minutos antes; pero con los módulos, te exiges más. Además, de esta manera no he encontrado tanta dificultad en hacer las actividades.» [No cursiva añadida]

Patricia: «A mi me gusta más la forma de los módulos, porque te da lo esencial de cada... te da los datos esenciales para tú hacer las actividades. Luego, las actividades tú las desarrollas, ¿sabes?... puedes sacar más conclusiones por ti sola.»

En relación con el diseño de los módulos, se analizó la organización y secuenciación de las actividades. Los alumnos destacan, de manera positiva, la secuenciación de las actividades planteadas, donde observan un orden progresivo de profundización de los contenidos y una adecuada interconexión entre ellas. Algunas de las respuestas de los alumnos:

Israel: « [...] Lo que más me ha gustado ha sido la forma de las actividades, que venían de menor a mayor dificultad; te ibas enterando bien.»

Patricia: «Las actividades te ayudan, porque, por ejemplo, en la primera actividad te dan información de cómo puedes hacerla y en la segunda te da un poquito más de información y también enlazado con la primera. Así, cuando llevas hechas muchas actividades, ya tienes el concepto del módulo entero y sabes hacerlo todo bien.»

Jesús: «Me ha parecido bien el orden de las actividades en los módulos, que eran de menor a mayor [dificultad]. Por ejemplo, en alguna te preguntaban una cosa y en la siguiente ya te aclaraban eso que, a lo mejor, lo tenías mal.» [No cursiva añadida]

Con respecto a la presentación de la información en las actividades, y su comparación con los habituales libros de texto, los alumnos prefieren la estructura seguida en los módulos didácticos. Lo que más valoran es la integración entre la teoría y la práctica a lo largo de las actividades, porque ello –dicen– le da un mayor carácter práctico y dinámico, y, a final, esto repercute positivamente en su aprendizaje. Las que siguen son algunas de las argumentaciones de los alumnos.

Javier: «Las actividades van más al grano, te hacen una introducción antes y luego puedes hacerlas; no te tienes que ir al libro y leerte el tema y ponerte a buscar. Eso cansa más. No es lo mismo hacer actividades y que la información necesaria venga en esa actividad, a que ésta venga en un libro diferente.»

Javi: «Yo prefiero mejor los módulos; es todo el tiempo haciendo actividades, donde te viene la información en las actividades, entonces es mejor. No tienes que leer un párrafo... a lo mejor lees lo mismo en el párrafo de un libro, que en las actividades de los módulos, pero está más organizado.»

Israel: « [...] Me gusta más porque va a lo concreto. Muchas veces, los libros se enrollan demasiado para decir una misma cosa.»

Cristina: « [...] Me gusta más que en los libros. En el libro viene mucha información y aquí [en los módulos] es más concreta. Es que en las actividades te mete teoría y también te mete la pregunta, entonces así es más fácil.»

Álvaro: « [...] Me gusta más con los módulos porque en los libros de texto viene de una forma que tú leyéndolo, tienes que entenderlo; luego [el profesor] te lo tiene que explicar, y después haces las actividades. En los módulos no, es mucho más rápido y mejor.» [No cursiva añadida]

Por último, se compara el estudio de nociones de Física de Semiconductores con el del resto de contenidos de Física y Química de la ESO. *La mayoría del alumnado entrevistado manifiesta que le ha gustado más estudiar Física de Semiconductores.* Unos explican que la razón por la cual les ha gustado más, se debe a cómo se presentan y desarrollan los contenidos en los módulos didácticos, que les ha ayudado a comprender mejor los conceptos. Otros –en un menor número– argumentan que les gusta más la Física de Semiconductores por los propios contenidos que se estudian. Las que siguen son algunas de las explicaciones que dan los alumnos.

Elena: *«Para mí son más fáciles los semiconductores que lo de la fuerza, la velocidad... y eso. Lo otro a lo mejor es más práctico, pero esto [la Física de Semiconductores] es más de pensar, de razonar y eso. Yo me imaginaba las figuritas de los electrones y eso, y así ya lo iba sacando.»* [No cursiva añadida]

Miriam: *«Para mí es más fácil [la Física de Semiconductores] que otros temas, y creo que es debido a cómo se presenta. Si se estudiara a través de los libros, sería igual que con los otros temas. Yo en el libro no me entero de nada, porque a lo mejor supone que tú entiendes algo y, en verdad, no sabes nada.»* [No cursiva añadida]

Javi: *«La verdad es que, al principio... me gustaba más lo de formulación de compuestos químicos, pero, a medida que íbamos avanzando con los módulos, iba sacando lo interesante del tema [Física de Semiconductores] y así, pues, al final me ha terminado gustando más. Y la verdad es que sí, que tampoco me ha resultado muy difícil.»* [No cursiva añadida]

Dani: *«Me ha gustado más porque... sabía que... yo intuía, en los primeros módulos, que todo iba enlazado; yo me decía: "cuando terminemos el trimestre seguro que todo tiene relación. O sea, todo lo que estudiemos aquí es una base para ir subiendo de nivel y llegar a algo". Y hemos llegado a que los semiconductores dopados y todo eso, pues sirven para... son la base para fabricar aparatos electrónicos.»*

Patricia: *«Para mí ha sido más fácil [la Física de Semiconductores] que, por ejemplo, lo de formulación de compuestos químicos. Pero creo que ha sido por la forma en que lo hemos estudiado; los contenidos son más fáciles de llevar, y eso influye mucho para comprender mejor.»* [No cursiva añadida]

3. Verificación de las hipótesis de acción y teorización

Una vez descritos y analizados los resultados de la evaluación, se dispone de información precisa para comprobar la veracidad de las hipótesis de acción planteadas. El proceso de comprobación tiene como finalidad el establecimiento de un marco referencial de la práctica educativa realizada (*Teorización*), en relación con el uso de módulos didácticos constructivistas en la enseñanza de la Física de Semiconductores en la ESO. En lo que sigue, se realiza dicho proceso de verificación.

3.1. Diseño de los módulos, metodología, clima del aula y actitudes hacia el estudio de la Física de Semiconductores

La integración de nociones de Física de Semiconductores en la ESO debe ser gradual y progresiva, de acuerdo con las capacidades del alumnado de este nivel educativo. Por tanto, el modelo didáctico propuesto –en forma de módulos didácticos–, debe fomentar el *aprendizaje autónomo* del alumnado,

en un clima de aula adecuado y mediante el desarrollo de actitudes favorables hacia el estudio de la temática. Todo esto se concreta en la hipótesis de acción I que, recordemos, se enunció del modo siguiente:

Hipótesis de acción I

¿Cómo se puede motivar al alumnado de ESO hacia el estudio de nociones básicas de Física de Semiconductores?: Mediante el diseño de módulos didácticos, con enfoque constructivista, que: a) sean atractivos y prácticos para el alumnado de este nivel; b) propicien un clima de trabajo en el aula, que haga participar al alumnado activamente en el desarrollo del proceso educativo; c) fomenten el desarrollo de actitudes favorables hacia el estudio de la Física de Semiconductores.

Los resultados obtenidos en la evaluación, con relación a la pregunta planteada en la hipótesis de acción I, confirman la veracidad de la respuesta propuesta. Los resultados, que se establecen como conclusiones significativas, se detallan a continuación:

- El alumnado ha resaltado la adecuada secuenciación de las actividades, planteada en orden progresivo de profundización de los contenidos, así como la apropiada interconexión entre las actividades a lo largo de cada módulo.
- Como aspecto positivo del diseño de los módulos, el alumnado ha destacado que las actividades integren teoría y práctica, porque esto da un mayor carácter práctico y dinámico y, en consecuencia, ha repercutido de manera favorable en su aprendizaje.
- El alumnado ha valorado positivamente el apoyo y la atención individualizada recibida del profesor, durante todo el proceso educativo; con lo cual, se constata la atención a la diversidad realizada por el profesor durante el proceso de enseñanza/aprendizaje.
- El alumnado ha reconocido el impulso de su atención y concentración en clase, debido a la metodología de trabajo empleada, durante el estudio de los módulos de Física de Semiconductores. Asimismo, reconoce un alto grado de motivación durante el estudio de los módulos, debido a la metodología (constructivista) empleada, que les ha permitido comprender los contenidos.
- En comparación con la metodología habitual (basada en la mera transmisión-recepción de información), el alumnado se inclina por la metodología constructivista utilizada en los módulos didácticos, destacando que les ha hecho más partícipes de su propio aprendizaje.
- El alumnado ha constatado que se valoró y potenció la participación en clase durante las puestas en común de las actividades, así como el trabajo en equipo.
- El alumnado ha percibido un ambiente apropiado de trabajo y de colaboración entre compañeros, durante la ejecución de las actividades, y de entendimiento con el profesor durante el proceso de enseñanza/aprendizaje.

3.2. Fomento de la autorregulación del aprendizaje de nociones de Física de Semiconductores mediante módulos didácticos constructivistas

Una vez dadas las condiciones idóneas para que el alumnado afronte el aprendizaje de la Física de Semiconductores, es necesario verificar si el modelo didáctico favorece la *autorregulación* del aprendizaje de los alumnos, con vistas a que éste llegue a ser significativo. Lo cual se ha concretado en la hipótesis de acción II de la siguiente forma:

Hipótesis de acción II

¿Cómo se puede favorecer el aprendizaje significativo de nociones de Física de Semiconductores en alumnos de ESO?: Mediante un modelo didáctico, basado en módulos didácticos constructivistas, que: a) explicita y transfiera, convenientemente, al alumnado los objetivos de aprendizaje previstos; b) permita al alumnado ser consciente de sus errores y capaz de gestionarlos, con el fin de que los corrija (autorregulación del aprendizaje).

Los resultados de la evaluación formativa/formadora han puesto de manifiesto la veracidad de la hipótesis de acción en los términos que, a modo de conclusión, se describen en lo que sigue.

- El alumnado manifiesta haber tenido claros los objetivos de aprendizaje y los aspectos científicos fundamentales de la Física de Semiconductores; lo que pone de manifiesto la eficacia de las estrategias empleadas en la transferencia de los objetivos, con vistas a favorecer la autorregulación del aprendizaje de los alumnos.
- El alumnado ha resaltado el importante papel de la reflexión continuada sobre su propio aprendizaje (proceso de *autorregulación*), practicada a lo largo del estudio de los módulos, pues les ha ayudado a comprender, de manera progresiva, los contenidos de la temática.
- El alumnado ha reconocido y valorado la importancia de las puestas en común de las actividades y de las correcciones de las pruebas escritas (evaluación formativa y coevaluación), a la hora de subsanar errores y comprender mejor los contenidos; es decir, han valorado la importancia del proceso de *autorregulación* del aprendizaje desarrollado durante el estudio de los módulos (evaluación formadora).
- El alumnado reconoce que las pruebas escritas de los módulos han tenido coherencia con el nivel y tratamiento de los contenidos estudiados en el aula, lo que confirma, nuevamente, la eficacia del proceso de transferencia de los objetivos didácticos, orientado a favorecer la autorregulación.

3.3. Adaptación de contenidos de física de semiconductores al nivel de ESO

La introducción de nociones básicas de Física de Semiconductores, en el currículo de Ciencias (Física y Química) de la ESO, requiere de un planteamiento didáctico atractivo, que no ocasione a los alumnos mayores dificultades de aprendizaje que el resto de contenidos del currículo. Esto es, se hace preciso comprobar si el alumnado ha percibido menos dificultades en el estudio de nociones de Física de Semiconductores –mediante módulos

didácticos constructivistas– que en el de otros contenidos de Física y Química. Lo cual se concretó en la siguiente hipótesis de acción:

Hipótesis de acción III

¿Es posible introducir el estudio de nociones de Física de Semiconductores en el nivel de ESO, sin que el alumnado perciba mayores dificultades de aprendizaje que en el resto de contenidos de Física y Química de esta etapa educativa?: Sí, mediante el uso de módulos didácticos donde: a) se adapten, adecuadamente, los contenidos de Física de Semiconductores al nivel de ESO; b) los contenidos se presenten de un modo más atractivo que otros de Física y Química introducidos mediante la metodología tradicional (basada en la transmisión-recepción).

En la evaluación de los módulos se han obtenido dos conclusiones importantes, que corroboran la veracidad de la respuesta a la pregunta que se plantea en la hipótesis anterior. Las conclusiones son:

- El alumnado manifiesta que le ha agradado más la Física de Semiconductores y, por tanto, le ha resultado más fácil de estudiar que otros contenidos de Física y Química, como, por ejemplo, Mecánica o Química Inorgánica. Entre las razones dadas destaca que ello ha sido debido, fundamentalmente, al modo en que se presentan y desarrollan los contenidos en los módulos didácticos (metodología constructivista).
- El alumnado considera que los contenidos y las tareas y propuestas, sobre Física de Semiconductores, han sido adecuados a sus capacidades cognitivas, y que el tiempo dedicado a su estudio ha sido apropiado.

3.4. Evaluación sumativa del proceso de enseñanza/aprendizaje

Después de exponer las conclusiones de la evaluación formativa/formadora de la experiencia, es preciso completar el proceso de *teorización* mediante una síntesis del proceso educativo (evaluación sumativa), en términos de la calidad que ha tenido la investigación-acción, y, por tanto, de la eficacia didáctica de los módulos didácticos en la enseñanza/aprendizaje de la Física de Semiconductores. Asimismo, se ha de indicar, desde una perspectiva global, qué estatus cognitivo ha logrado el alumnado sobre Física de Semiconductores, y cuáles han sido las principales concepciones alternativas detectadas, con vistas a mejorar el aprendizaje de la temática en acciones futuras. Todo esto se concretó en la hipótesis de acción IV que, recordemos, se enunció del modo que sigue:

Hipótesis de acción IV

¿Es posible llevar a cabo una investigación orientada a introducir nociones de Física de Semiconductores en el currículo de Ciencias (Física y Química) de la ESO, y obtener conclusiones consistentes en aras de consolidar su enseñanza en la etapa?: Sí, mediante la puesta en práctica y evaluación de módulos didácticos constructivistas, en el marco de una investigación-acción práctica, que permita elaborar una teorización de la acción realizada en los siguientes términos:

- 1) *Se ponga de manifiesto la calidad de la experiencia, en tanto se confirmen la validez y fiabilidad de los elementos empleados en la recogida y análisis de los datos, siguiendo los criterios de credibilidad, dependencia, confirmabilidad y transferibilidad de una investigación-acción.*

2) *El empleo de módulos didácticos constructivistas favorezca el aprendizaje significativo de nociones de Física de Semiconductores.*

3) *Sea posible averiguar si existe un patrón estable de concepciones alternativas sobre Física de Semiconductores en el alumnado de ESO.*

De acuerdo con los resultados obtenidos, estamos en disposición de poder decir que, efectivamente, ha sido posible elaborar una teorización de la práctica educativa realizada, en los términos que se indican en la hipótesis de acción anterior. Para llegar a esta conclusión nos apoyamos en las actuaciones efectuadas y datos siguientes:

1) *En relación con la calidad de la investigación-acción ejecutada:*

- En la descripción y análisis de los resultados de la evaluación, se han expuesto numerosos fragmentos de las reflexiones hechas por los alumnos en sus cuadernos sobre la evolución de su propio aprendizaje (autorregulación), de las explicaciones que estos han dado en las cuestiones de las pruebas escritas (conocimientos declarativos y procedimentales), de las respuestas de las entrevistas personales y de las reflexiones realizadas por el profesor-investigador en su diario. Todo ello pone de manifiesto la *credibilidad y confirmabilidad* de los resultados obtenidos.

- Se ha obtenido un alto grado de estabilidad en los resultados obtenidos mediante las pruebas escritas, el cuestionario de encuesta, las entrevistas personales y los cuadernos de los alumnos; de modo que se pone de manifiesto la *fiabilidad* de los instrumentos de evaluación empleados (*criterio de dependencia*). Esto se ratifica porque en las dos ocasiones se han observado niveles de conocimientos similares, y, en general, opiniones y valoraciones semejantes sobre todos los elementos intervinientes en el proceso de enseñanza/aprendizaje. Los resultados crean, además, importantes expectativas con vistas a que los módulos didácticos surtan efectos didácticos similares en otros contextos educativos, con características parecidas a las descritas en la investigación (*transferibilidad de los resultados*).

- Se ha obtenido, también, un alto grado de consistencia interna en las pruebas escritas y el cuestionario, lo que corrobora, junto a la estabilidad de los datos obtenidos, la fiabilidad de los instrumentos de evaluación.

- Se ha constatado la *validez interna* de las actividades de los módulos didácticos y de las pruebas escritas correspondientes, en tanto que nos han permitido evaluar lo que deseábamos evaluar (niveles cognitivos y progreso del aprendizaje), según los objetivos y criterios de evaluación de cada módulo (*validez de contenido*), y del modo en que se ha pretendido evaluar (*validez de constructo*); esto es, mediante la categorización de los niveles cognitivos alcanzados en las pruebas escritas, y del grado de aprendizaje logrado en las actividades de los módulos.

2) *Con respecto a la eficacia didáctica de los módulos didácticos:*

- El alumnado ha observado una alta correlación entre los objetivos previstos (proporcionados con antelación por el profesor) y los contenidos estudiados en el aula, y que ello ha favorecido su aprendizaje.

- A la hora de hacer una comparación con el estudio de otros temas de Física y Química, el alumnado ha destacado la eficacia de la metodología de

trabajo, de los materiales didácticos empleados (módulos didácticos) y del clima del aula, en el aprendizaje de nociones de Física de Semiconductores.

■ En la mayoría de las actividades de los módulos, el número de alumnos que ha comprendido el contenido de las mismas –una vez realizada la puesta en común– supera el 60%. Esto indica que el ejercicio de *autorregulación* efectuado por los alumnos, ayudado por las discusiones en grupo y las puestas en común de las actividades, surtieron efectos favorecedores en su aprendizaje.

3) *En cuando al conocimiento adquirido por los alumnos y las concepciones alternativas más frecuentes:*

Uno de los objetivos básicos de la experiencia ha sido analizar *cómo* aprenden los alumnos Física de Semiconductores, a través de los módulos didácticos propuestos. Con ello se ha intentado demostrar que es posible introducir, de forma gradual, nociones básicas de esta materia en la ESO. Motivo por el cual se ha hecho un análisis de los niveles de conocimientos alcanzados por los alumnos, una vez culminado el proceso de enseñanza/aprendizaje.

Desde una perspectiva global podemos decir que éstos han desarrollado ideas y razonamientos en la línea adecuada, aunque con algunas imprecisiones y equivocaciones respecto a las concepciones aceptadas científicamente. Ello no lo concebimos como un fracaso de nuestra propuesta de enseñanza, sobre todo, porque nos encontramos en los primeros pasos de la misma. Somos conscientes de que es el primer nivel educativo en el que los alumnos acceden a estos contenidos y de la dificultad que supone lograr un aprendizaje significativo en Ciencias. Y más aún cuando se aborda la dimensión microscópica de la materia. En el caso de los semiconductores, es necesario el manejo de conceptos y modelos abstractos, con el fin de comprender su estructura interna y comportamiento. Y, no cabe duda, que ello, además de la complejidad intrínseca de los conceptos, plantea una dificultad importante a la hora de hacer una transposición didáctica de los contenidos a un nivel básico. Sin embargo, estamos convencidos de que los alumnos de ESO pueden aprender significativamente contenidos de Física de Semiconductores; creemos que nuestros resultados apoyan esta convicción. La cuestión estriba en cómo enfocar adecuadamente la enseñanza de tales contenidos y cómo ir mejorándola progresivamente. Por tal motivo, pensamos que un resultado interesante y novedoso de la investigación es la detección de un marco de concepciones y razonamientos de alumnos de 14-15 años, en relación con el comportamiento de los semiconductores. Su conocimiento y análisis nos va a permitir perfeccionar, de forma paulatina, la eficacia didáctica de nuestra propuesta en acciones sucesivas. Estas concepciones alternativas más frecuentes se sintetizan en el cuadro 7.1.

De las concepciones alternativas, hemos observado que son especialmente difíciles de modificar las concernientes a tópicos como el comportamiento de los semiconductores con la temperatura y el proceso de dopado. Pero, sobre todo, es significativa la dificultad que tienen los alumnos para comprender en profundidad el concepto de hueco; entre otras razones, porque se trata de un concepto abstracto, donde se adjudican propiedades corpusculares a 'algo' que no es una partícula física. Por ello,

será necesario, en acciones sucesivas, canalizar esfuerzos en hacer más comprensible dicho concepto; por ejemplo, mediante el uso de analogías y simulaciones que pongan de manifiesto, de forma relativamente sencilla, el comportamiento y las propiedades de los huecos en un semiconductor.

- Se asume que el comportamiento eléctrico intermedio de los semiconductores, a temperatura ambiente, viene dado por una especie de dualidad conductor-aislante de los semiconductores.
- Se confunde la relación causa-efecto entre la temperatura y la resistividad de un semiconductor; se piensa que los cambios de temperatura del mismo vienen determinados por los cambios de la resistividad.
- Se observan dificultades en asumir que a un hueco [vacante de la red] se le asigna una carga eléctrica; lo cual viene motivado por el hecho de que no entienden que esa propiedad surge como consecuencia del modelo del enlace covalente, empleado para explicar la estructura y el comportamiento de un semiconductor.
- Se piensa que un hueco continúa existiendo después del proceso de recombinación, como si fuese una especie de "funda" permanente de electrones, y que adquiere la carga del electrón que lo "ocupa".
- Se piensa que el proceso de recombinación consiste en una atracción electrostática de cargas de signos opuestos [huecos y electrones libres].
- Se cree que una impureza donadora es un electrón, y una aceptora, un hueco. Por tanto, no se entiende que las impurezas son átomos [por definición, eléctricamente neutros].
- Se piensa que los huecos participan en la neutralidad eléctrica de los semiconductores, como si fuesen cargas físicas [reales]. Esta idea, unida a la citada anteriormente, hace a los alumnos pensar que un semiconductor extrínseco no es eléctricamente neutro porque existe un desequilibrio entre el número de electrones libres y de huecos; de forma que creen que los semiconductores tipo p están cargados positivamente, y los tipo n, negativamente.
- Se observa la idea de considerar el dopado como un proceso equivalente al de generación de pares electrón-hueco; es decir, un proceso que consiste en subir la temperatura del semiconductor con objeto de liberar electrones y bajar, así, su resistividad.
- En el contexto del proceso de dopado, algunos alumnos creen que los huecos son como "defectos" de la red cristalina del semiconductor, y que las impurezas donadoras se introducen con objeto de corregir esos defectos.

Cuadro 7.1. Principales concepciones alternativas de alumnos de 14-15 años sobre Física de Semiconductores.

4. Perspectivas futuras de investigación

Toda investigación está basada en ideas o trabajos precedentes, que abren nuevas vías de investigación, porque han planteado nuevos interrogantes y ayudado a proponer problemas futuros. En consecuencia, se hace necesario plantear nuevas perspectivas y formular interrogantes orientados a originar posibles investigaciones futuras.

Creemos que la aportación de nuestra investigación a la enseñanza de nociones de Física de Semiconductores en Educación Secundaria (ESO), debe considerarse como el punto de partida de una novedosa línea de investigación en Didáctica de la Física. Esto es así, por dos motivos muy distintos: 1) no se conocen estudios precedentes sobre el tema, con la profundidad que han sido tratados aquí, y 2) la investigación descrita es limitada, porque ha sido realizada por un único profesor, con un reducido número de alumnos y en un contexto educativo concreto.

A continuación exponemos un compendio abierto de sugerencias orientativas, con el propósito de contribuir al planteamiento de nuevos problemas de investigación.

1. En la investigación se han alcanzado los objetivos planteados: diseñar un modelo didáctico, con enfoque constructivista, para la enseñanza de nociones de Física de Semiconductores en Educación Secundaria (ESO), y evaluar su eficacia educativa en un espacio natural de la práctica docente. Dado que la experiencia se ha llevado a cabo en un contexto docente específico, es necesario extender la investigación a otros contextos educativos, con el fin de contrastar los resultados aquí expuestos, y obtener una visión más amplia, con vistas a consolidar la enseñanza de esta materia en la Educación Científica Básica. En concreto, pensamos que debe profundizarse en:

- La validez y eficacia de las actividades propuestas en los módulos didácticos, y de su secuenciación en el desarrollo de los contenidos de Física de Semiconductores en el nivel de ESO.
- El conocimiento de los problemas y dificultades de aprendizaje de los alumnos, con el fin de establecer los tratamientos didácticos oportunos que permitan corregirlos paulatinamente.
- El establecimiento de estrategias dirigidas a promover en los alumnos mecanismos de aprendizaje cooperativo y de autoaprendizaje, como elementos imprescindibles en el *cambio conceptual*, en un marco de aprendizaje constructivista.
- El planteamiento de la evaluación como elemento inherente al proceso de enseñanza/aprendizaje, y, especialmente, de la evaluación formativa-formadora, enfocada a proporcionar al alumnado la autonomía necesaria, con la intención de que logre un aprendizaje significativo de los conceptos.
- El diseño de instrumentos y técnicas de evaluación válidas y fiables, que permitan hacer una valoración profunda y constructiva de todos los aspectos intervinientes en el proceso de enseñanza/aprendizaje, con la finalidad de mejorar la eficacia del modelo didáctico en acciones sucesivas.

2. Aun cuando en la experiencia realizada se han llevado a cabo estrategias orientadas a la atención a la diversidad, ésta no ha sido todo lo efectiva que se hubiese deseado. Por consiguiente, será necesario establecer medidas más eficaces de 'atención a la diversidad', con el propósito de que los alumnos con dificultades de aprendizaje logren desarrollar las capacidades previstas en los objetivos de los módulos

didácticos. Igualmente, será preciso establecer las estrategias apropiadas para que el alumnado con capacidades cognitivas superiores a la del conjunto de la clase, avance a su propio ritmo de aprendizaje.

3. Dado que la investigación ejecutada tiene como finalidad contribuir a la integración de contenidos de Electrónica Física en el currículo de Ciencias (Física y Química) de la ESO, sería interesante diseñar y evaluar, en coordinación con el área de Tecnología, nuevos módulos didácticos sobre la disciplina. Los nuevos módulos podrían estar dedicados, por ejemplo, al estudio del comportamiento físico del *diodo de unión pn* y su papel en circuitos electrónicos básicos; al papel desempeñado por los materiales semiconductores en la producción de energía fotovoltaica; o a la fabricación de *circuitos integrados* sencillos en el laboratorio.

4. El modelo didáctico planteado tiene como fin que la enseñanza de la Física de Semiconductores contribuya a la alfabetización científica de los jóvenes, que viven inmersos en una sociedad colmada de productos electrónicos. El modelo se desarrolla en un marco didáctico y metodológico coherente con las actuales tendencias en Didáctica de las Ciencias Experimentales, de modo que es aplicable a cualquier nivel educativo. Mediante la adaptación conveniente del contenido de los módulos didácticos, se plantea la posibilidad de realizar la investigación en niveles educativos superiores, como Bachillerato de Ciencias y Tecnológico, y Ciclos Formativos relacionados con la Electrónica; incluso en la Educación Científica universitaria..

5. Se ha concluido que el diseño de módulos didácticos, y su aplicación en un marco constructivista, favorece el aprendizaje autónomo del alumnado, hace que sea consciente de su propio aprendizaje (hábitos de autorregulación), aumenta su motivación por el aprendizaje de nuevos contenidos, e impulsa su implicación en las sesiones de clase. Por tanto, se presenta como un recurso didáctico y metodológico útil en el estudio de otros temas de Física y materias afines (Astronomía, Informática, Tecnología, Química,...). Sería interesante, en esta línea, llevar a cabo investigaciones dirigidas a evaluar la eficacia de módulos didácticos constructivistas, en otras parcelas de las Ciencias Experimentales.

6. Puesto que el actual Sistema Educativo promueve la utilización de las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC) en los procesos de enseñanza/aprendizaje, sería conveniente diseñar módulos didácticos de Física de Semiconductores en soporte Multimedia –y otros soportes similares–, plantear estrategias de enseñanza/aprendizaje con ayuda de Internet, y evaluar su eficacia didáctica en la Educación Científica Básica.

Proponemos de forma escueta algunos interrogantes que pueden guiar futuras investigaciones en la línea planteada:

✓ ¿Qué eficacia educativa tendrá el modelo propuesto en otros contextos educativos semejantes al que se ha descrito en nuestra investigación? ¿Y en otros que tengan características diferentes (por ejemplo, en centros ubicados en zonas desfavorecidas socialmente, en aulas de diversificación curricular, o en aulas multiétnicas)?

✓ ¿Qué estrategias didácticas y metodológicas, respecto al modelo propuesto, deben planificarse con el propósito de mejorar el rendimiento académico logrado en nuestra investigación? Y más concretamente:

- ¿Cómo lograr que el máximo número de alumnos, dentro de una clase heterogénea (desde un punto de vista social, cognitivo, etc.) adquiera mecanismos de aprendizaje cooperativo y de autoaprendizaje, que le permitan conseguir un aprendizaje significativo de los conceptos?
- ¿Qué medidas de 'atención a la diversidad' son necesarias establecer con objeto de que todos los alumnos, teniendo en cuenta sus capacidades cognitivas, alcancen los objetivos propuestos en los módulos de Física de Semiconductores?
- ¿Cómo mejorar el efecto de la evaluación formativa-formadora en el proceso de enseñanza/aprendizaje, enfocada a proporcionar al alumnado la autonomía necesaria, en aras de lograr un aprendizaje significativo de los conceptos?
- ¿Es posible diseñar técnicas e instrumentos de evaluación, que permitan hacer una valoración profunda y constructiva de todos los aspectos intervinientes en el proceso de enseñanza/aprendizaje, a fin de mejorar la eficacia del modelo didáctico en cualquier contexto educativo?

✓ ¿Qué eficacia educativa tendrán otros módulos didácticos (por ejemplo, sobre el diodo semiconductor de *unión pn*, el uso de los semiconductores en la producción de *energía fotovoltaica* o la fabricación de *circuitos integrados*), enfocados a integrar la Electrónica en el currículo de Ciencias (Física y Química) de la ESO?

✓ ¿Qué efectos didácticos tendrá el uso de módulos constructivistas de Física de Semiconductores en niveles educativos superiores (Bachillerato, Ciclos Formativos y Universidad), si se hace la correspondiente adaptación de contenidos?

✓ ¿Qué eficacia tendrá el uso de módulos didácticos constructivistas en el estudio de otras áreas de la Física, y demás Ciencias Experimentales, tanto en la educación básica como en niveles superiores?

✓ ¿Es posible diseñar módulos didácticos constructivistas, de Física de Semiconductores, que puedan ser utilizados mediante las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC)? ¿Qué eficacia educativa tendría el uso de Multimedia e Internet en la enseñanza de la Física de Semiconductores, en los distintos niveles educativos?

5. Referencias bibliográficas

Elliott, J. (2000). *La investigación-acción en educación* (4ª ed.). Madrid: Morata.

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

Mortimer, E.F. (1995). Conceptual change or conceptual profile change? *Science & Education*, 4, pp. 267-285.

Padilla, M.T. (2002). *Técnicas e instrumentos para el diagnóstico y la evaluación educativa*. Sevilla: CCS.

Rivas, F. (1997). *El proceso de enseñanza/aprendizaje en la situación educativa*. Barcelona: Ariel.

Rosado, L. y Ayensa, J.M. (2001). *Investigar en Didáctica de la Física y Materias Afines. Tratado para profesores y doctorandos*. Madrid: UNED.

Seré, M.G. (1990). Passing from one model to another: with strategy?, En Linjse, P.L. et al. (Eds.), *Relating Macroscopic Phenomena to Microscopic Particles. A Central Problem in Secondary Science Education*, pp. 50-66. Utrech: University of Utrech.

Sierra Bravo, R. (2001). *Técnicas de Investigación Social* (14^a ed.). Madrid: Paraninfo.

ANEXO I

PRUEBA ESCRITA SOBRE NOCIONES DE FÍSICA DE SEMICONDUCTORES

1. Los átomos de cierto material tienen 4 electrones de valencia. A temperatura ambiente, dicho material:
 - 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

Justificación de la respuesta:
2. A altas temperaturas, un material semiconductor intrínseco:
 - a) Se convierte en buen conductor de la electricidad.
 - b) Se comporta igual que un conductor, es decir, mal conductor de la electricidad.
 - c) Se comporta como aislante de la electricidad.

Justificación de la respuesta:
3. Los huecos en un semiconductor:
 - a) No poseen carga eléctrica.
 - b) Poseen carga eléctrica negativa.
 - c) Poseen carga eléctrica positiva.

Justificación de la respuesta:
4. En el proceso de generación:
 - a) Aparece un par electrón-hueco en el semiconductor.
 - b) Aparece un hueco y desaparece un electrón libre.
 - c) Aparecen más electrones libres que huecos.

Justificación de la respuesta:
5. Explica cómo se genera un electrón libre en un semiconductor a partir del dopado con una impureza donadora.
6. ¿Cómo se obtiene un semiconductor extrínseco tipo p? Razona tu respuesta.
7. En un semiconductor extrínseco tipo n:
 - a) Los huecos son los portadores de carga minoritarios.
 - b) Los electrones libres son los portadores de carga mayoritarios.
 - c) No existen portadores de carga mayoritarios ni minoritarios.
 - d) Los electrones libres son los portadores de carga minoritarios.

Justificación de la respuesta:
8. Si a un semiconductor puro (intrínseco) le introducimos dos impurezas donadoras, ¿seguirá siendo eléctricamente neutro?. Razona tu respuesta.

ANEXO II

INVENTARIO DE CORRECCIÓN Y CATEGORIZACIÓN DE RESPUESTAS DE LA PRUEBA ESCRITA SOBRE NOCIONES DE FÍSICA DE SEMICONDUCTORES ²⁹

Solución 1: c). Atendiendo a la configuración electrónica de la última capa (4 electrones de valencia), se trata de un elemento semimetálico. Según la regla del octeto, le es "igual de fácil que difícil ganar que perder 4 electrones", hasta alcanzar los 8 electrones de valencia para su estabilidad. En consecuencia, tendrá un comportamiento intermedio entre los metales y los no metales; será peor conductor que los metales –a temperatura ambiente, se entiende–, porque necesita perder más electrones de valencia que estos, a fin de lograr su estabilidad. Y será peor aislante que los no metales, porque necesita ganar más electrones que estos para estabilizarse.

Criterios de corrección

Nivel 1: Respuesta en blanco (no escoge ninguna opción).

Nivel 2: Respuesta errónea (no escoge la opción c)), o escoge la opción correcta, pero no da ninguna justificación.

Nivel 3: Escoge la opción c), pero no la justifica correctamente, o bien lo hace de manera incompleta.

Nivel 4: Escoge la opción c) y da una explicación similar a la solución dada.

Solución 2: b). Al aumentar la temperatura en un semiconductor intrínseco, los electrones ligados a los átomos adquieren la energía suficiente para romper el enlace y pasan a ser electrones libres. Y a medida que aumenta la temperatura, mayor número de electrones libres habrá dispuestos a formar parte de una corriente eléctrica. En cambio, en un conductor existe un gran número de electrones libres a temperatura ambiente; y como sus átomos requieren una energía de ionización menor, a altas temperaturas, el número de electrones libres y el estado de vibración de los átomos de la estructura son tales que se produce un colapso, que dificulta el tránsito de las cargas en su interior. Por ello, a altas temperaturas los semiconductores conducen mejor la electricidad que los propios conductores. [La parte subrayada es una ampliación, sin la cual puede considerarse válida para los alumnos].

Criterios de corrección

Nivel 1: Respuesta en blanco (no escoge ninguna opción).

Nivel 2: Opción errónea (no escoge la opción b)), o se escoge la opción correcta, pero no se da ninguna justificación.

Nivel 3: Escoge la opción b), pero no la justifica correctamente, o bien lo hace de manera incompleta.

Nivel 4: Escoge la opción b) y la justifica de manera similar a lo expuesto.

Solución 3: c). En el modelo del enlace covalente para los semiconductores, los huecos son ausencias originadas por la liberación de los electrones de la

²⁹Las soluciones que se ofrecen a las cuestiones de la prueba escrita están argumentadas conforme a los objetivos de aprendizaje, sobre nociones de Física de Semiconductores, para el nivel de ESO.

red, que se mueven por el interior de un semiconductor, en sentido contrario a los electrones libres. Por ello, A un hueco se le asigna una carga positiva, cuyo valor es igual a la del electrón, pero de signo contrario ($1,6 \cdot 10^{19}$ C).

Criterios de corrección

Nivel 1: Respuesta en blanco (no escoge ninguna opción).

Nivel 2: Respuesta incorrecta (no escoge la opción c)), o escoge la opción correcta, pero no da ninguna justificación.

Nivel 3: Escoge la opción c), pero no la justifica correctamente, o bien lo hace de manera incompleta.

Nivel 4: Escoge la opción c) y la justifica de manera similar a lo expuesto.

Solución 4: a). Cuando un electrón abandona el enlace, al recibir la energía de ionización necesaria, se produce una vacante (hueco) en dicho enlace. Por tanto, la generación de un hueco es un proceso inherente a la generación de un electrón libre –no es posible generar un electrón libre sin el correspondiente hueco–; de ahí que el proceso se denomine ‘generación de un par electrón-hueco’, y que, en consecuencia, exista el mismo número de electrones libres y de huecos en un semiconductor intrínseco.

Criterios de corrección

Nivel 1: Respuesta en blanco (no escoge ninguna opción).

Nivel 2: Respuesta errónea (no elige la opción a)), o escoge la opción correcta, pero no da ninguna justificación.

Nivel 3: Elige la opción a), pero no la justifica adecuadamente, o bien lo hace de manera incompleta.

Nivel 4: Elige la opción a) y la justifica de un modo similar a la solución dada.

Solución 5: Cuando se introduce una impureza donadora, al poseer un tamaño similar al de los átomos intrínsecos del semiconductor (por ejemplo, de germanio), ésta encaja sin dificultad en la estructura covalente del semiconductor, compartiendo un par de electrones con cada uno de los cuatro átomos más próximos del semiconductor. Puesto que una impureza donadora es un átomo pentavalente (por ejemplo, antimonio), uno de sus electrones de valencia quedará desapareado, ya que no cabe en ninguno de los cuatro enlaces. Con lo cual, el efecto es la introducción de un electrón libre en el semiconductor. Surge así un semiconductor extrínseco tipo n.

Criterios de corrección

Nivel 1: Respuesta en blanco.

Nivel 2: Respuesta errónea.

Nivel 3: La respuesta está bien orientada, pero incompleta, o con algún error en la explicación.

Nivel 4: Da la explicación correcta de modo similar a la solución dada.

Solución 6: Al dopar un semiconductor intrínseco con impurezas aceptoras (átomos trivalentes como, por ejemplo, el boro), aumentamos el número de huecos con respecto al de electrones libres. En consecuencia, los

portadores mayoritarios son los huecos ('cargas positivas'), por lo que se obtiene un semiconductor extrínseco denominado tipo p (de positivo).

Criterios de corrección

Nivel 1: Respuesta en blanco.

Nivel 2: Respuesta errónea.

Nivel 3: La respuesta está bien orientada, pero incompleta, o con algún error durante la explicación.

Nivel 4: Da la explicación correcta de modo similar a la solución dada.

Solución 7: b). Un semiconductor extrínseco tipo n, es un semiconductor dopado con impurezas donadoras (átomos pentavalentes); de modo que al introducir átomos con 5 electrones de valencia, como, por ejemplo, el antimonio, el semiconductor aumenta el número de electrones libres con respecto al de huecos: de los cinco electrones de valencia de la impureza, 4 son compartidos con los átomos del semiconductor más próximos, y el restante queda desapareado (pasa, con relativa facilidad, a ser libre). Por consiguiente, contiene mayor número de electrones libres que huecos. La designación de la letra 'n' (de negativo) responde a que la corriente que predomina en el semiconductor es la debida a los electrones (portadores mayoritarios).

Criterios de corrección

Nivel 1: Respuesta en blanco (no escoge ninguna opción).

Nivel 2: Respuesta errónea (no escoge la opción b)), o elige la opción correcta, pero no da ninguna justificación.

Nivel 3: Escoge la opción b), pero no la justifica correctamente, o bien lo hace de manera incompleta.

Nivel 4: Escoge la opción b) y la justifica de manera similar a la solución dada.

Solución 8: Las impurezas que se insertan en un semiconductor, ya sean donadoras o aceptoras, son átomos –por tanto, neutros– que aportan el mismo número de electrones y de protones al semiconductor. En consecuencia, aunque el átomo insertado quede ionizado, al ocupar el lugar de un átomo de silicio o germanio, el semiconductor en su conjunto sigue siendo neutro.

Criterios de corrección

Nivel 1: Respuesta en blanco.

Nivel 2: Respuesta errónea.

Nivel 3: La respuesta está bien orientada, pero incompleta, o con algún error durante la explicación.

Nivel 4: Da la explicación correcta de modo similar a la solución dada.

ANEXO III

CUESTIONARIO DE ENCUESTA SOBRE EL PROCESO DE ENSEÑANZA/APRENDIZAJE REALIZADO CON LOS MÓDULOS DIDÁCTICOS DE FÍSICA DE SEMICONDUCTORES

Se presenta una serie de afirmaciones, referidas a diferentes aspectos relacionados con el estudio de los módulos didácticos, en las que debes indicar tu grado de acuerdo o desacuerdo con cada una de ellas. Para ello, pondrás una cruz encima del grado de acuerdo que se escribe a la derecha de cada afirmación.

1.1	<i>Has tenido claro qué objetivos de aprendizaje tenías que conseguir a través del estudio de los módulos</i>	Totalmente de acuerdo	Bastante de acuerdo	Medianamente de acuerdo	Poco de acuerdo	Nada de acuerdo
1.2	<i>El tema estudiado con los módulos (Física de Semiconductores) te ha parecido interesante</i>	Totalmente de acuerdo	Bastante de acuerdo	Medianamente de acuerdo	Poco de acuerdo	Nada de acuerdo
1.3	<i>Has captado de una manera clara los aspectos fundamentales del tema estudiado</i>	Totalmente de acuerdo	Bastante de acuerdo	Medianamente de acuerdo	Poco de acuerdo	Nada de acuerdo
2.1	<i>La organización del tema, planteada por el profesor, ha sido favorable para su comprensión</i>	Totalmente de acuerdo	Bastante de acuerdo	Medianamente de acuerdo	Poco de acuerdo	Nada de acuerdo
2.2	<i>Los métodos de enseñanza empleados en el estudio de los módulos han favorecido positivamente tu aprendizaje</i>	Totalmente de acuerdo	Bastante de acuerdo	Medianamente de acuerdo	Poco de acuerdo	Nada de acuerdo
2.3	<i>Durante el estudio de los módulos no te has sentido perdido, sino apoyado y guiado por las orientaciones del profesor</i>	Totalmente de acuerdo	Bastante de acuerdo	Medianamente de acuerdo	Poco de acuerdo	Nada de acuerdo
2.4	<i>El diseño de las actividades y los métodos empleados por el profesor, en el estudio de los módulos, te han facilitado siempre la comprensión de lo estudiado</i>	Totalmente de acuerdo	Bastante de acuerdo	Medianamente de acuerdo	Poco de acuerdo	Nada de acuerdo
2.5	<i>Las orientaciones y tareas planteadas por el profesor, en el estudio del tema, te han ayudado a completarlo, comprenderlo o ampliarlo</i>	Totalmente de acuerdo	Bastante de acuerdo	Medianamente de acuerdo	Poco de acuerdo	Nada de acuerdo
3.1	<i>En general, podrías afirmar que en tu clase ha habido buen ambiente de colaboración entre los compañeros/as</i>	Totalmente de acuerdo	Bastante de acuerdo	Medianamente de acuerdo	Poco de acuerdo	Nada de acuerdo
3.2	<i>Se ha valorado y potenciado la participación de los estudiantes en clase, a través de preguntas sobre dudas o aclaraciones al profesor, o entre nosotros</i>	Totalmente de acuerdo	Bastante de acuerdo	Medianamente de acuerdo	Poco de acuerdo	Nada de acuerdo
3.3	<i>Las relaciones entre el profesor y los estudiantes para fijar fechas de exámenes, entrega de trabajos, etc, han sido fáciles</i>	Totalmente de acuerdo	Bastante de acuerdo	Medianamente de acuerdo	Poco de acuerdo	Nada de acuerdo

4.1	<i>Las tareas y contenidos del tema, para estudiantes de tu edad o capacidad, resultan adecuados</i>	Totalmente de acuerdo	Bastante de acuerdo	Medianamente de acuerdo	Poco de acuerdo	Nada de acuerdo
4.2	<i>Mientras el profesor explicaba el tema, siempre has tomado notas y apuntes</i>	Totalmente de acuerdo	Bastante de acuerdo	Medianamente de acuerdo	Poco de acuerdo	Nada de acuerdo
4.3	<i>Mientras estudiabas el tema, has escrito preguntas, dudas o sugerencias para consultarlas al profesor o comentarlas con algún compañero/a</i>	Totalmente de acuerdo	Bastante de acuerdo	Medianamente de acuerdo	Poco de acuerdo	Nada de acuerdo
4.4	<i>El tiempo que has dedicado al estudio de los módulos ha sido adecuado para su comprensión y dominio</i>	Totalmente de acuerdo	Bastante de acuerdo	Medianamente de acuerdo	Poco de acuerdo	Nada de acuerdo
5.1	<i>La información recibida de la corrección y resultados de controles, actividades y preguntas de clase, te han servido para corregir errores y dominar el tema</i>	Totalmente de acuerdo	Bastante de acuerdo	Medianamente de acuerdo	Poco de acuerdo	Nada de acuerdo
5.2	<i>Las preguntas que se han planteado en las pruebas escritas no me han causado sorpresa</i>	Totalmente de acuerdo	Bastante de acuerdo	Medianamente de acuerdo	Poco de acuerdo	Nada de acuerdo
5.3	<i>El nivel de exigencia para realizar las actividades y superar los controles de los módulos, no ha sido elevado</i>	Totalmente de acuerdo	Bastante de acuerdo	Medianamente de acuerdo	Poco de acuerdo	Nada de acuerdo
6.1	<i>El profesor se ha centrado en lo esencial del tema, y lo ha presentado de un modo atractivo; los materiales de trabajo te han permitido interesarte por el tema, y saber, en todo momento, lo que tenías que aprender</i>	Totalmente de acuerdo	Bastante de acuerdo	Medianamente de acuerdo	Poco de acuerdo	Nada de acuerdo
6.2	<i>Cada módulo estaba bien estructurado; las actividades eran asequibles, estaban bien delimitadas y, con ellas, has podido organizar el trabajo de manera eficaz</i>	Totalmente de acuerdo	Bastante de acuerdo	Medianamente de acuerdo	Poco de acuerdo	Nada de acuerdo
6.3	<i>El clima del trabajo en clase ha sido estimulante para el aprendizaje</i>	Totalmente de acuerdo	Bastante de acuerdo	Medianamente de acuerdo	Poco de acuerdo	Nada de acuerdo
6.4	<i>Las indicaciones del profesor para el trabajo en clase, y la propia temática tratada, te han permitido comprender los contenidos</i>	Totalmente de acuerdo	Bastante de acuerdo	Medianamente de acuerdo	Poco de acuerdo	Nada de acuerdo
6.5	<i>Las pruebas realizadas y el nivel de exigencia han sido los adecuados</i>	Totalmente de acuerdo	Bastante de acuerdo	Medianamente de acuerdo	Poco de acuerdo	Nada de acuerdo

ANEXO IV

GUIÓN GENERAL EMPLEADO EN LAS ENTREVISTAS PERSONALES A LOS ALUMNOS SOBRE SU EXPERIENCIA CON EL ESTUDIO DE LOS MÓDULOS DIDÁCTICOS DE FÍSICA DE SEMICONDUCTORES

Las cuestiones que se detallan a continuación, son las *preguntas-guía* empleadas en las entrevistas personales. Si bien, dado que se empleó el *método de entrevista dirigida*, cuando fue necesario, se introdujeron preguntas auxiliares a éstas, con objeto de extraer la máxima información posible del alumno entrevistado.

PRIMERA PARTE

1. *¿Por qué un semiconductor conduce mejor la electricidad que un material metálico (conductor), a altas temperaturas?*
2. *¿Qué es un hueco en un semiconductor? ¿Cómo se comporta? ¿Qué propiedades tiene?*
3. *¿En qué consiste el proceso de generación de un par electrón-hueco en un semiconductor?*
4. *¿En qué consiste el proceso de dopado de un semiconductor? ¿Con qué fin se realiza?*

SEGUNDA PARTE

1. *¿Qué es lo que más te ha gustado de los módulos didácticos? ¿Y lo que menos?*
2. *¿Se aprende mejor Física y Química con el estudio de módulos como los que hemos utilizado, o es preferible que la asignatura se enseñe de la forma tradicional?*
3. *¿Te ha costado mucho acostumbrarte a la metodología de trabajo empleada en los módulos? ¿Qué es lo que más te ha costado? ¿Y lo que menos?*
4. *¿Te gusta como se presentan los contenidos en los módulos? ¿Te gusta más o menos que como se introducen en los libros de texto?*
5. *¿Te ha gustado el tema de la Física de Semiconductores? ¿Te ha gustado más o menos que otros temas de la asignatura de Física y Química?*
6. *En general, ¿te ha resultado difícil el estudio de la temática tratada en los módulos didácticos, la Física de Semiconductores? ¿Has tenido más o menos dificultades que con otros temas de Física y Química?*