

Relacionando los fenómenos eléctricos con la naturaleza y propiedades de la materia: fundamentos de una propuesta de enseñanza

Antonio García-Carmona*

ABSTRACT (Relating electrical phenomena to nature and properties of matter: foundation of a teaching proposal).

Electric phenomena learning from a basic knowledge of matter is argued in this article. So a global vision on physic-chemical sciences can be favoured because an explicit link among different scientific domains is established. In this sense, a theoretic-practical framework is suggested to teach some aspects of solid materials electric behaviour in the 3rd year of secondary education (age 14-15).

KEY WORDS: Electric behaviour, Learning demand, Matter, Secondary Education, Solid materials

1. Introducción

Aun cuando existen razones didácticas para enseñar fenómenos eléctricos a partir de conceptos básicos relativos a la materia (De Posada, 1997; García-Carmona, 2006a,b,c), son escasas las investigaciones al respecto. Prueba de ello es que los contenidos dedicados a la materia y la electricidad suelen ser secuenciados de forma prácticamente inconexa en la etapa de Educación Secundaria (en adelante, ES), de una buena cantidad de países. Se establecen como temas independientes, uno en el campo de la química y otro en el de la física, sin que apenas se establezcan vínculos entre ellos. Desde nuestro punto de vista, esta organización desfavorece una imagen globalizada de las ciencias fisico-químicas, que, consecuentemente, obstaculiza la comprensión de las interrelaciones que existen entre los diferentes ámbitos científicos que la componen.

El origen de esta situación podemos encontrarlo en la historia de la ciencia. En efecto, la mayoría de los conceptos fundamentales de electricidad, que hoy conocemos, surgieron durante los siglos XVIII y XIX (Gamow, 1996), cuando aún no se tenía un conocimiento profundo de la estructura interna de la materia y de sus propiedades. Pero, ha sido este último el que ha permitido comprender, en profundidad, el comportamiento eléctrico/electrónico de los materiales (Jolly, 1984). Por tanto, existen también razones científicas suficientes para vincular, explícitamente, ambos ámbitos en su enseñanza. Y, el hecho de que ello no se haga, se debe, en nuestra opinión, a un vestigio histórico-epistemológico de la ciencia, que aún está presente en la mayoría de los actuales currículos de física y química de ES.

Por ello, nos propusimos diseñar una propuesta didáctica orientada a enseñar nociones sobre el comportamiento eléctrico de los materiales sólidos, tomando como punto de parti-

da los contenidos sobre la naturaleza y propiedades de la materia (teoría cinética, modelos atómicos, configuración electrónica, enlaces químicos, etc.), establecidos en el currículo de física y química de la etapa.

La finalidad de este artículo es: a) describir el fundamento teórico de la propuesta de enseñanza, b) determinar la demanda de aprendizaje de los alumnos, en torno al tema, y c) proponer una secuencia de actividades para su implementación en el aula, detallando los objetivos de aprendizaje.

2. El diseño de propuestas didácticas en la enseñanza de las ciencias

El diseño de una propuesta didáctica es una labor generalmente compleja, que debe tener en cuenta las características de los diversos aspectos que intervienen en el proceso de educativo (contenido, edad de los alumnos y sus conocimientos previos, metodología de enseñanza, recursos, tiempo y espacios disponibles, etc.). Además, debe ser un proceso abierto, dinámico y sometido a un análisis continuo de validación.

En nuestro caso, tomamos como base el concepto de *demanda de aprendizaje* (Leach y Scott, 2002). El proceso comienza por conocer las concepciones y razonamientos habituales de los alumnos sobre el tópico en cuestión. Luego, comparando dichas concepciones con el contenido científico escolar que se va a enseñar, se identifica la demanda de aprendizaje, que orientará el diseño de la propuesta. También tuvimos en consideración lo sugerido por Buty, Tiberghien y Le Maréchal (2004), quienes basan sus diseños en tres hipótesis:

a) *Hipótesis sobre el conocimiento*. Partiendo del concepto de *transposición didáctica* (Chevallard, 1997), referido al proceso mediante el cual se pasa del conocimiento científico a la ciencia que va a ser enseñada en la escuela, el diseño de una secuencia de enseñanza debe:

— Introducir las teorías y modelos de forma coherente con el nivel y desarrollo cognitivo de los alumnos. Igualmente, las tareas deben ser diseñadas de modo que los alumnos pue-

* Colegio Luisa de Marillac, Sevilla, España.

Correo electrónico: agarciaca@cofis.es

dan acceder al conocimiento, confrontando el suyo previo con el establecido por el ámbito científico.

— Emplear el lenguaje y las representaciones, del conocimiento a enseñar, más apropiadas para el nivel educativo en cuestión; esto es, que hagan accesible dicho conocimiento a los alumnos.

b) *Hipótesis sobre el aprendizaje.* El diseño de una secuencia debe tomar como base la idea vigostkiana sobre la zona de desarrollo próximo del alumno. Es decir, debe partir del conocimiento previo de los alumnos y considerar qué posibilidades tienen de adquirir el nuevo conocimiento, de acuerdo con su desarrollo cognitivo y contexto socioeducativo. Esto determinará el diseño específico de las actividades y tareas de aprendizaje.

c) *Hipótesis didáctica.* La implementación de la propuesta será más satisfactoria en la medida en que los alumnos se impliquen activamente en su estudio, lo cual exige el empleo de estrategias didácticas motivadoras. En la actualidad, la estrategia didáctica que parece más efectiva, entre otras cosas porque estimula la participación del alumnado, es la que plantea el aprendizaje como una actividad investigadora (Rocard *et al.* 2007), que es convenientemente orientada por el profesor.

3. ¿Cómo enseñar el comportamiento eléctrico de los sólidos en ES?

De acuerdo con lo dicho en torno a la hipótesis sobre el conocimiento, en el diseño de propuestas didácticas, vamos a describir el marco (teórico) conceptual y didáctico sobre el que se sustenta la propuesta.

Además de centrarnos en el comportamiento eléctrico de los sólidos, aclaramos, desde el principio, que con el fin de simplificar nuestra propuesta de enseñanza —de primera introducción al tema en ES—, consideraremos que éstos son homogéneos; es decir, con las mismas propiedades físico-químicas en todas sus partes. Asimismo, sólo nos referiremos a objetos que sean sustancias puras constituidas por un solo elemento, como ocurre con los metales y los sólidos covalentes atómicos.

'Concepto de carga neta'

La distinción entre 'poseer carga' y 'estar cargado' suele plantear dificultades a los alumnos de ES (Rosado y García-Carmona, 2004). Asumen que un cuerpo está cargado por el hecho de poseer cargas, sin tener en cuenta si el efecto global de éstas es el estado neutro. La corrección de tal idea requiere una adecuada comprensión de la naturaleza eléctrica de la materia, que se fundamente en un conocimiento básico de la estructura interna del átomo. De acuerdo con Tsaparlis y Pappaphotis (2002), y con un trabajo nuestro previo (García-Carmona, 2002), en ES es suficiente con una descripción clásica y cualitativa del átomo, basada en el modelo de Rutherford. La introducción de un modelo más avanzado, como el cuántico, supondría una dificultad añadida para alumnos de esta etapa, teniendo en cuenta, sobre todo, que lo que se pretende hacer es una primera aproximación al tema.

Con dicho modelo, los alumnos pueden entender 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. Si bien, esta situación no es estable, ya que provoca una atracción entre cuerpos cargados con signo contrario, o entre cargados y neutros. En consecuencia, a la hora de introducir el estado eléctrico de los cuerpos, habrá que insistir en que éste viene determinado por su carga neta: diferencia entre el número de electrones y protones.

'Fenómeno de la electrización'

Una de las concepciones alternativas más frecuentes en los alumnos, en relación con el fenómeno de la electrización, es que la carga se "crea" cuando el cuerpo es electrizado (Criado y Cañal, 2003). También, que un cuerpo cargado positivamente es aquel que ha ganado protones, y que éstos, además, pueden generar corrientes eléctricas (Rosado y García-Carmona, 2004). Por tanto, de lo que se tratará es de hacer ver a los alumnos que la electrización de los objetos es una consecuencia exclusiva de pérdida o ganancia de electrones. Como primera aproximación, ello puede justificarse con el hecho de que los protones, al encontrarse en el núcleo, no "pueden" abandonar el átomo ni, por tanto, "moverse" por el interior del objeto.^{1,2} Pensamos que así se ayuda, además, a que comprendan 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. Igualmente, ello permite justificar que las corrientes eléctricas en los sólidos son debidas exclusivamente a electrones.

'Papel de la estructura y composición química de los materiales en sus propiedades eléctricas'

La comprensión de la conducción eléctrica en los objetos demanda que los alumnos conozcan cómo se distribuyen los electrones en el interior de sus átomos (García-Carmona, 2006b,c), ya que ello determina la estructura y composición química de tales objetos; y éstas, a su vez, la movilidad que pueden llegar a tener los electrones de valencia, liberados de los enlaces, en el interior de estos (Gao y Sammes, 1998).

En nuestro planteamiento, optamos por introducir la *regla del octeto* de Lewis como modelo simple para explicar algunos aspectos del enlace químico. Sabemos de sus limitaciones —principalmente, por las excepciones que presenta— y, por tanto, de los modelos mentales inadecuados que puede origi-

¹ Aunque el modelo de Rutherford no hace una descripción completa del núcleo atómico, sí establece que la carga positiva de éste se debe a los protones que alberga en su interior.

² Estamos obviando, lógicamente, el caso de las reacciones nucleares, donde los protones sí entran en juego; si bien, la presente propuesta didáctica se plantea cuando aún no ha sido abordado el tema de la radiactividad y energía nuclear.

nar en el alumnado (Coll y Treagust, 2003). Sin embargo, creemos que es el más apropiado para la etapa educativa que nos ocupa. También hacemos una primera introducción a la configuración electrónica de los elementos representativos, resaltando el papel de los electrones de valencia en la formación de enlaces químicos, y, consecuentemente, en las propiedades eléctricas de los materiales. De acuerdo con los resultados que hemos obtenido en otras investigaciones (García-Carmona, 2004, 2006d), en ES es suficiente con que el alumno sea capaz de obtener la distribución de los electrones en los distintos niveles de energía —sin hacer mención a los subniveles energéticos— e identificar el número de electrones de valencia.

Con todo ello, se intenta que el alumno adquiera una primera idea de por qué unos sólidos tienen —o pueden llegar a tener— más electrones (de valencia) libres que otros. Y, luego, que asocian la propiedad de los sólidos de ‘conducir la electricidad’ con ‘poseer electrones libres’.

‘Concepto de semiconductor de la electricidad’

El concepto de *semiconductor* puede ser construido a partir de las configuraciones electrónicas del silicio y el germanio, que son sustancias sólidas covalentes atómicas. Este planteamiento exige tener presentes las dificultades habituales de los alumnos respecto a este tipo de materiales. Por ejemplo, Özmen (2004) señala, entre otras, que los alumnos de ES suelen creer que los sólidos covalentes atómicos presentan la misma compartición de pares de electrones que los sólidos covalentes moleculares.

Rosado y García-Carmona (2004) han encontrado que el hecho de que los semimetales representativos posean cuatro electrones de valencia (como el Si y el Ge), suele producir discusiones interesantes en 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”. De alguna manera, todas estas ideas conducen a los alumnos a sospechar que los materia-

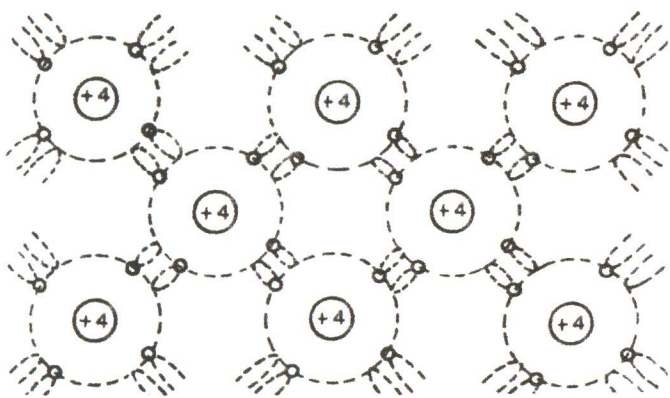


Figura 1. Modelo plano de la estructura de un semiconductor intrínseco de Si/Ge.

les formados por dichos elementos tienen un comportamiento eléctrico intermedio a los metales y no metales.

La comprensión del comportamiento eléctrico de los semiconductores demanda el empleo de algún modelo que facilite su estudio. Pensamos que el modo más apropiado de representar la estructura covalente de los semiconductores, en la etapa de ES, es mediante el modelo plano de la figura 1. Se trata de un modelo clásico y simplificado —basado en los diagramas de Lewis—, que permite hacer una primera introducción a los mismos (García-Carmona, 2006a). El modelo está, además, en consonancia con lo sugerido en el currículo de física y química de ES, donde suele aconsejarse 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 dicha etapa, ya que se fundamentan en la teoría cuántica, que es introducida a partir de bachillerato (16-18 años).

‘Causa que origina corrientes eléctricas en un objeto’

La diferencia de potencial (*ddp*) es uno de los conceptos de electricidad que mayores dificultades de aprendizaje plantea a los alumnos (Duit y Rhöneck, 1998; Rosenthal y Henson, 2006). Frecuentemente piensan que la *ddp* es el efecto de una corriente eléctrica, en lugar de su causa (Psillos, Koumaras y Tiberghien, 1988); también, que ésta no puede existir si no hay circulación de corriente eléctrica (Cohen, Eylon y Ganiel, 1983). Tales concepciones suelen ser consecuencia de un tratamiento inadecuado del concepto en su enseñanza. Stockmayer y Treagust (1994) han encontrado, además, que, en los libros de texto, la *ddp* suele recibir un tratamiento casi exclusivamente matemático, sin incidir en su significado físico.

Fuera del contexto de los circuitos eléctricos, pensamos que el movimiento de cargas puede introducirse en términos de un *desequilibrio eléctrico* entre dos zonas del objeto. Así, cuando se unen dos cuerpos con cargas opuestas, habrá movimiento de electrones desde el cuerpo negativo al positivo,³ hasta lograr en ambos la neutralidad eléctrica (igual número de electrones y protones). Y para que permanezca ese movimiento, es preciso mantener dicho desequilibrio de cargas (*ddp*), tal y como hace una pila.

Somos conscientes de las limitaciones del planteamiento que acabamos de hacer para la *ddp*, principalmente porque puede inducir al alumno a pensar que ésta no es más que una simple diferencia de cargas. Sin embargo, esta explicación —comprensible para los alumnos, si han asimilado antes la tendencia natural de la materia a neutralizarse— puede ayudar a sentar las bases conceptuales idóneas para una posterior introducción más formal de la *ddp*, en términos de energía eléctrica.

³ En esta afirmación englobamos aquellos casos en los que ambos cuerpos tienen el mismo signo de la carga (ya sea positiva, o negativa), pero con diferente magnitud.

'Influencia de la temperatura en la conducción eléctrica de los sólidos'

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 (García-Carmona, 2006b). En ES apenas se hace alusión al concepto; si bien, su introducción es esencial para comprender la conducción eléctrica en los materiales. 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, y que puede variar con la temperatura a la que se encuentre.

La influencia de la temperatura en la conducción eléctrica de los sólidos, puede ser comprendida con ayuda de la *teoría cinética* aplicada a sólidos, y del concepto de *energía de ionización*.⁴ En efecto, la resistividad de un conductor crece a medida que lo hace la temperatura, pues los átomos de éste aumentan la amplitud de su vibración en torno a sus posiciones de equilibrio; con lo cual, se obstaculiza el movimiento de la gran cantidad de electrones libres que posee el material. En cambio, en los semiconductores (sólidos covalentes atómicos) un aumento de temperatura produce rupturas en sus enlaces y, a consecuencia de ello, la liberación de electrones —cuando adquieren la energía de ionización—, que estarán dispuestos a formar una corriente eléctrica, si se aplica la *ddp* correspondiente. Ello explica la disminución de la resistividad de los semiconductores ante un aumento de la temperatura. No obstante, conviene matizar, al respecto, que la temperatura necesaria para romper los enlaces covalentes del semiconductor, y convertirlo en buen conductor de la electricidad, es realmente grande (en torno a 800K para el Ge). Por tanto, afirmar que 'la conductividad de los semiconductores aumenta con la temperatura', sin más, será una sobre simplificación que haremos, dentro del carácter introductorio de la propuesta para la etapa que nos ocupa.

4. Concreción de la propuesta de enseñanza

4.1 Determinación de la demanda de aprendizaje

Después de establecer el planteamiento teórico de los contenidos, decidimos llevar a cabo un estudio preliminar orientado a valorar la eficacia de una primera secuencia de actividades experimental, próxima a que le presentaremos después. La finalidad era determinar la demanda de aprendizaje de los alumnos, a fin de matizar y/o reorientar, convenientemente, las actividades para implementaciones ulteriores. Serán las actividades depuradas, a partir de dicho estudio, las que describiremos aquí.

⁴ Como primera aproximación al concepto, en ES sólo nos referimos a la primera energía de ionización, definiéndola como la energía necesaria para liberar un electrón de valencia.

En relación con el carácter conductor de los sólidos, encontramos que algunos alumnos creen que éstos son buenos conductores de la electricidad si tienen muchos electrones de valencia, con independencia de que tengan mayor o menor posibilidad de ser libres. A fin de evitar tal equivocación, centramos la atención en que el carácter conductor de un material viene determinado por su estructura y composición química. El tipo de enlace químico determina cuán ligados están los electrones de valencia en los enlaces y, por tanto, qué posibilidad tienen de llegar a ser libres para poder formar una corriente eléctrica.

Respecto a los portadores de carga en un material sólido, los alumnos —como ya anticipábamos— asumen que los protones también pueden moverse por el material. En la línea de lo anterior, esta idea puede evitarse si antes logramos que los alumnos entiendan que los responsables de la electricidad en los sólidos son los electrones de valencia, liberados al recibir la energía de ionización correspondiente. Además, como primera aproximación, conviene promover la idea —que ya avanzamos— de que los protones, al encontrarse en el núcleo de los átomos ('mucho más internos' que los electrones), están tan ligados que su 'liberación' requeriría una energía excesivamente grande (como ocurre en los procesos nucleares). Y que el aporte de tal energía, antes de liberarlos ya habría roto el material.

La influencia de la temperatura en el comportamiento eléctrico de los materiales fue la que mayores dificultades de aprendizaje supuso para los alumnos. Las ideas equivocadas más significativas son:

- A elevadas temperaturas los metales disminuyen su capacidad de conducir electricidad por un "efecto de compensación", en el que los electrones reducen su movilidad a fin de evitar el calentamiento del material.
- A temperatura ambiente, los semiconductores tienen simultáneamente propiedades de conductores y aislantes (mitad conductor y mitad aislante).
- Se invierte la relación entre la temperatura y la resistividad de un semiconductor, es decir, se cree que los cambios de temperatura vienen determinados por cambios de la resistividad.

Creemos que la afloración de las ideas anteriores pueden ser evitadas si se llega a comprender adecuadamente el concepto de resistividad. Si bien, antes es preciso insistir, de nuevo, a los alumnos que el comportamiento eléctrico de los materiales depende de su estructura y composición química. Y que dicha composición puede modificar sus propiedades eléctricas ante cambios de temperatura. En este sentido, pensamos que es fundamental que los alumnos primero adquieran una idea básica de la teoría cinética aplicada a los sólidos. En efecto, la relación entre la resistividad y la temperatura demanda que los alumnos consigan relacionar el número de portadores de carga [electrones libres] del material con la temperatura a la que se encuentre. Así, se puede llegar a entender que a medida que aumenta la temperatura del material,

sus enlaces empiezan a romperse [reciben la energía de ionización] y mayor número de electrones libres habrá. Como la resistividad es un parámetro que da cuenta de la dificultad que tienen los materiales de conducir la electricidad, se tratará de que los alumnos entiendan que:

- La resistividad de un material depende de la temperatura a la que se encuentre, y no al revés.
- A temperatura ambiente, un metal ya tiene un gran número de electrones libres, y si sube su temperatura aumenta aún más el número de electrones libres. Esto originará un colapso que dificultará la movilidad de los electrones y, por tanto, la formación de una corriente eléctrica en el material. Por ello, en los metales, a medida que sube la temperatura, la resistividad también aumenta.
- A temperatura ambiente, un semiconductor tiene pocos electrones libres, pero a medida que sube su temperatura, empiezan a romperse los enlaces, aumentando así el número de electrones libres. Por ello, cuando la temperatura de estos sube, disminuye su resistividad.

4.2 Programa de actividades, objetivos y pautas de implementación

Con base en toda la fundamentación teórica descrita, y después del estudio preliminar, diseñamos la unidad didáctica denominada: «¿Cómo explicar el comportamiento eléctrico de los objetos que nos rodean?». El desarrollo completo de la misma requiere unas 12 sesiones de clase, de una hora cada una, y está dirigida, fundamentalmente, al nivel de 14-15 años. En España, la asignatura de física y química en ese nivel cuenta con dos horas semanales, y la cuarta parte de los contenidos corresponden al estudio de la electricidad; de modo que, con la unidad, intentamos abarcar dicho bloque de la asignatura.⁵ Asimismo, se aconseja que la unidad sea implementada una vez que hayan sido abordados en clase los contenidos sobre materia, que sirven de base para la misma.

Como planteamiento metodológico general, para el desarrollo de la unidad sugerimos que los alumnos se organicen en equipos de trabajo lo más equilibrados posibles. Se debe intentar que, en cada equipo, los alumnos interpreten la información ofrecida en las actividades, intercambien ideas y opiniones, en relación con los fenómenos analizados, y soliciten cuanta ayuda precisen al profesor, a fin de poder salvar aquellos obstáculos que les impidan avanzar en su aprendizaje. Luego, se tratará de que los equipos elaboren respuestas, o conclusiones, lo más consensuadas posibles, para exponerlas a los demás equipos en aras de discutir las. Todo este proceso debe estar adecuadamente dirigido por el profesor, quien introducirá los matices y orientaciones oportunas en cada caso.

Dado que nuestro planteamiento didáctico y metodológico se enmarca en un enfoque socioconstructivista del aprendizaje, en el diseño de las actividades seguimos las recomendaciones de Rico (2003, cit. en Sanmartí y Alimenti, 2004: 126), tratando de que: (1) aborden hechos o problemas cercanos al alumno, por tanto, referidos a su contexto; (2) orienten al alumno acerca de qué ideas puede poner en juego para dar sus respuestas; y (3) inviten al alumno a esforzarse en elaborar sus respuestas o conclusiones, poniéndoles en la situación, por ejemplo, de que éstas van dirigidas a otros alumnos de su misma edad.

A continuación, describimos y comentamos el programa de actividades que componen la unidad didáctica.

'Presentación del tema'

Se puede comenzar indagando las ideas previas de los alumnos en relación con el tópico. También se puede optar por tener en cuenta lo que dice la literatura especializada acerca de las dificultades de aprendizaje habituales de los alumnos, tal como se ha indicado en el marco teórico. En cualquier caso, a fin intentar motivar al alumnado hacia el estudio de la unidad, en la primera sesión se pueden plantear cuestiones genéricas como las siguientes:

- En cualquiera de los electrodomésticos que tenéis en casa, ¿seríais capaces de diferenciar los materiales que son conductores de electricidad, de los que no lo son? ¿En qué os basáis para hacer la distinción?
- ¿Por qué algunas veces, cuando nos bajamos de un coche y tocamos la puerta, sentimos un calambre?
- ¿De qué están hechos los materiales que conducen la electricidad en los edificios? ¿Y los aislantes?
- ¿Por qué creéis que el circuito de vuestro ordenador personal tiene uno o varios ventiladores?
- ¿Sabéis qué materiales se usan en los paneles fotovoltaicos? ¿Por qué creéis que se utilizan esos y no otros?

El propósito es que los alumnos expresen sus opiniones, interactuando entre ellos y con el profesor, a fin de poder obtener una percepción global de sus intereses y aportaciones sobre el tema. Por tanto, más que resolver las cuestiones, de lo que se trata es de crear en los alumnos una sensación de demanda de aprendizaje, cuya adquisición les ayude a comprender aspectos de su vida cotidiana, relacionados con la electricidad en los sólidos.

'¿Cuándo un objeto está cargado eléctricamente?'

El concepto de carga neta se aborda mediante la siguiente actividad:

A.1. Pedro, Luis, Sara y María discuten sobre dudas acerca del estado eléctrico de los materiales de nuestro alrededor. ¿Cuál sería tu opinión, en cada caso, si formarais parte del grupo?

1) Pedro dice que como la materia está constituida por átomos, que tienen cargas eléctricas (protones y electrones), todos los materiales están cargados eléctricamente.

⁵ Aspectos como el análisis de circuitos eléctricos básicos no son incluidos porque ya se hace en la asignatura de Tecnología, con la que debe existir una buena coordinación.

2) Luis, por su parte, cree que como los átomos tienen el mismo número de electrones que protones, todos los materiales son eléctricamente neutros.

3) Sara, en cambio, piensa que un material puede estar cargado eléctricamente, si consigue tener distinto número de electrones y protones, porque haya ganado o perdido electrones.

4) María, al igual que Sara, opina que un material puede estar cargado eléctricamente, aunque añade que estará cargado positivamente si sus átomos ganan protones, y cargado negativamente, si ganan electrones.

Después de escribir tus opiniones, compáralas con las de tus compañeros y compañeras de grupo. Discutid las posibles diferencias y revisa tus respuestas en función de las ideas aportadas. Si tenéis alguna duda, pedid ayuda al profesor o profesora.

Con la actividad se intenta que los alumnos lleguen a entender que: (1) los átomos son eléctricamente neutros porque tienen el mismo número de electrones (carga negativa) y protones (carga positiva); (2) el estado eléctrico de los materiales viene determinado por un balance entre el número de electrones y de protones; y (3) un material estará cargado eléctricamente cuando gane o pierda electrones de valencia.

‘¿Cómo se electrizan los objetos?’

En el fenómeno de la electrización nos planteamos que los alumnos entiendan que: (1) la electrización de un material se debe, exclusivamente, a la pérdida o ganancia de electrones; y (2) la separación de cargas en la electrización por inducción, se debe al movimiento de electrones por la acción de una carga externa. Para ello, proponemos la siguiente actividad:

A.2. Seguramente habréis experimentado alguna vez que frotando un bolígrafo de plástico en un abrigo de lana, se consigue atraer pequeños trozos de papel. Al fenómeno se le conoce como electrización, y, en este caso concreto, se consigue tener el bolígrafo cargado negativamente.

1) Investigad (consultado libros, internet, etc.) y explicad cómo se produce el fenómeno anterior.

2) Teniendo en cuenta lo que habéis aprendido con el apartado anterior, averiguad ahora cómo se puede cargar un material positivamente, a partir de otro también cargado positivamente. Explicad lo que ocurre en el fenómeno a escala microscópica.

3) Diseñad un experimento distinto al del bolígrafo, donde se ponga de manifiesto el fenómeno estudiado.

Solicitud cuanta información y ayuda preciséis al profesor durante la actividad.

‘¿Cómo influye la estructura y composición química de los objetos en sus propiedades eléctricas?’

A la hora de abordar este aspecto, nos proponemos que los

alumnos comprendan que: (1) la movilidad de los electrones en los sólidos depende de su estructura y composición química; (2) los electrones de valencia son las únicas cargas que pueden llegar a formar parte de una corriente eléctrica, cuando son liberados de sus enlaces; y (3) la propiedad de los sólidos de conducir la electricidad, está relacionada con poseer electrones libres.

Creemos que la consecución de dichos objetivos de aprendizaje pueden ser logrados por medio de la terna de actividades que siguen.

A.3. En un colegio, alumnos de 3^{er} curso de ES han elaborado un juego, similar al Trivial Pursuit, con preguntas de física y química. Una de las partes que más discusiones generó, a la hora de confeccionar las preguntas y respuestas, fue la referida a la estructura de los átomos y el enlace químico. Les costó ponerse de acuerdo respecto a lo que determina las propiedades eléctricas de los materiales. Los argumentos que barajaban los alumnos eran:

Manolo: "...los átomos tienen sus electrones distribuidos en capas, y en la más externa, llamada capa de valencia, se encuentra los electrones, que determinan las propiedades de los materiales, entre ellas las eléctricas".

Juan: "Yo mejor diría que los electrones de valencia determinan el tipo de enlace químico, que componen a los materiales. Y, luego, que es el tipo de enlace químico lo que realmente determina la mayor o menor capacidad de conducir la electricidad de un material."

Rosa: "Yo estoy de acuerdo con Manolo. Creo que los electrones de valencia sí son los que determinan la capacidad de conducir la electricidad de los materiales; porque aquellos átomos con menos de cuatro electrones de valencia se denominan metálicos, y los que tienen más de cuatro, no metálicos. Y sabemos que los metales son buenos conductores de la electricidad, y los no-metales, no."

Alba: "Pues yo comparto prácticamente todo lo que dice Juan, aunque añadiría que la cantidad de electrones de valencia es fundamental para determinar qué tipo de enlace químico puede formar los átomos. Hay que tener en cuenta la regla del octeto, que nos dice que los átomos tienden a unirse con otros a fin de conseguir su estabilidad, que viene dada por tener completa la última capa; es decir, ocho electrones de valencia. Así se parecerán a los gases nobles, que son estables y tienen ocho electrones de valencia. Hay algunas excepciones que ahora mismo no recuerdo."

Basándote en lo que has aprendido sobre el tema, ¿con quién estás más de acuerdo? ¿Por qué? ¿Añadirías algo más al argumento con el que te identificas? Discute tu decisión con tus compañeros de grupo.

A.4. Teniendo en cuenta lo discutido en la actividad anterior, ¿qué comportamiento eléctrico tendrá un objeto formado por átomos de un solo elemento, que tengan 2 electrones de valencia? ¿Por qué?

A.5. "¿Cómo te imaginas la estructura interna de un objeto conductor y de un objeto aislante?". Esta pregunta fue

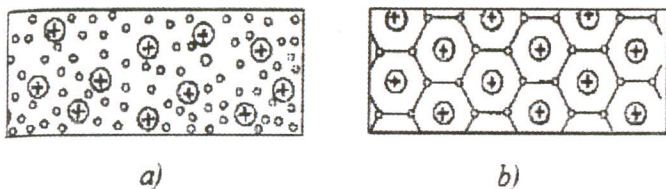


Figura A. ¿Qué esquemas representan las estructuras internas de un objeto conductor y de un aislante?

planteada por un profesor a sus alumnos de física y química. Para argumentar las respuestas, el profesor les pidió que dibujaran un esquema de cada estructura, indicando las uniones entre los átomos y la disposición de los electrones de valencia alrededor de estos. El esquema debía hacer ver, de alguna manera, la mayor o menor movilidad de esos electrones en cada material, ya que eso es lo que determina si el material es mejor o peor conductor de la electricidad. Para facilitar el dibujo, les dijo que supusieran que tanto el conductor como el aislante eran sustancias puras formadas por un único elemento químico.

Dos de los dibujos que se hicieron son los que se muestran en la figura A. ¿Cuál crees que correspondía al conductor, y cuál al aislante? ¿Por qué? Si no estás de acuerdo con ninguno de ellos, ¿cómo lo dibujarías tú?

¿A qué llamamos semiconductor de electricidad?

Lo que se pretende es que los alumnos reconozcan la estructura covalente de un semiconductor, con ayuda de un modelo plano basado en los diagramas de Lewis, similar al de la figura 1. Y luego que, a temperatura ambiente, los semiconductores tienen un comportamiento eléctrico intermedio a los materiales conductores y aislantes. Con el propósito de lograr tales objetivos, proponemos las dos actividades que se detallan a continuación:

A.6. Ya habéis estudiado 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 (salvo los gases nobles). En el caso de los materiales semiconductores, los átomos se unen entre sí mediante enlace covalente, dando lugar a unas estructuras denominadas sólidos covalentes atómicos. Busca información sobre las características y propiedades de estas estructuras, prestando especial atención a las eléctricas. A continuación, pon esa información en común con tus compañeros de grupo, y elaborad un pequeño informe.

A.7. Como se vio en el tema anterior, los enlaces covalentes pueden ser representados mediante los diagramas planos de Lewis, donde se indican los electrones de valencia de cada átomo y los pares compartidos por estos. La estructura atómica de los semiconductores también puede ser representada mediante este tipo de diagramas, tal como se indica en la figura B (*coincide con la figura 1 ya expuesta*). Las circunferencias pequeñas representan los núcleos de cada átomo, y sobre las esferas concéntricas se indican los

pares de electrones compartidos con los átomos vecinos. Según esa estructura,

- ¿son estables los átomos? ¿Por qué?
- De acuerdo con lo que habéis concluido en la actividad A.6, ¿qué grado de movilidad tendrán los electrones de valencia en los semiconductores? Es decir, ¿qué comportamiento eléctrico tendrán estos materiales?

¿Cuál es la causa de que se originen corrientes eléctricas en un objeto?

Respecto al concepto de diferencia de potencial, los objetivos de aprendizaje que planteamos están orientados a que los alumnos comprendan que: (1) la generación de una corriente eléctrica es debida a una diferencia de carga entre dos zonas del material, a fin de intentar equilibrarlas eléctricamente; y (2) que para mantener una corriente eléctrica entre esas dos zonas, es necesario mantener dicho desequilibrio. La actividad que planteamos para tal propósito —y que puede ser trabajada en una sesión de clase o laboratorio— es la siguiente:

A.8. Seguramente habréis comprobado, alguna vez, que si acercáis el brazo a la pantalla de la TV, después de que haya estado funcionado un rato, los pelos se erizan. El fenómeno tiene que ver con la electrización.

- Investigad cuál es el signo de la carga que se acumula en la pantalla.
- ¿Por qué pensáis que se eriza el pelo del brazo cuando lo acercamos a la pantalla?
- Si nada más apagar la TV, conectamos la pantalla, mediante un hilo de cobre y cinta adhesiva, a un trozo de corcho de porexpán, que previamente ha sido electrizado con carga contraria a la primera, ¿habrá paso de corriente eléctrica entre la pantalla y el corcho? ¿Por qué?
- Contestad sólo si vuestra respuesta anterior es afirmativa. Si pensáis que circularán cargas por el hilo que une los dos cuerpos, ¿qué tipo de cargas serán y en qué sentido lo harían? ¿Cuándo cesaría esa corriente eléctrica?

Podemos ver que la actividad, además, en el apartado 4) vuelve a incidir en cuáles son los portadores de carga eléctrica en los materiales sólidos. Su finalidad es valorar qué grado de asimilación han alcanzado los alumnos en la terna de actividades A.3-A.5, relativas a dicho aspecto.

¿Cómo influye la temperatura en la conducción eléctrica de los objetos?

La última parte de la unidad se destina a que los alumnos lleguen a entender que: (1) la resistividad es una característica propia de cada material, independiente de sus dimensiones, que da idea de su oposición intrínseca a la circulación de corriente eléctrica en su interior; (2) la resistividad depende de la estructura interna del material, de la temperatura a la que se encuentre, y, por consiguiente —en el caso de los sólidos—, del número de electrones libres que tenga; (3) los conductores aumentan su resistividad eléctrica con la subida de su

temperatura, es decir, que se convierten en malos conductores de electricidad, y (4) los semiconductores disminuyen su resistividad ante un aumento de temperatura, es decir, aumentan su conductividad eléctrica.

Las actividades que proponemos para abordar tales aspectos en el aula son las que siguen.

A.9. Una profesora de física y química explicaba a sus alumnos que todos los materiales presentan más o menos oposición al paso de corriente eléctrica. Argumentaba que esto 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. A esa dificultad la denominó *resistencia eléctrica*, cuya unidad de medida es el ohmio (Ω). Partiendo de esta información, investigad cómo será la resistencia (grande, pequeña o intermedia) de un objeto conductor, un aislante y un semiconductor. Ordenadlas en sentido creciente.

A.10. Con el fin de profundizar en el significado de resistencia eléctrica, la profesora mandó a sus alumnos buscar más información. Uno de los grupos encontró en un libro que «la resistencia eléctrica de un material depende de su estructura y composición química; de manera que no todos los materiales ofrecen la misma oposición al paso de la corriente. A esta propiedad característica de cada material se le denomina resistividad (ρ), y su unidad es ohmio-metro. Otro de los grupos encontró, además, que «el valor de la resistividad depende de la temperatura a la que se encuentre el material», sin entrar en más detalles.

Imaginad que formáis parte de esa clase, que sois uno de los grupos más adelantados, y que la profesora os pide que ayudéis a otros grupos con sus dudas, basándoos en lo que ya sabéis sobre las características de los enlaces químicos y la teoría cinética aplicada a los sólidos. Las dudas que os plantean son:

¿Por qué influye la temperatura en que un material conduzca mejor o peor la electricidad?

¿Cómo influirá en la resistividad eléctrica de los materiales metálicos un aumento de la temperatura? ¿Y en su resistividad?

A.11. En un laboratorio, unos estudiantes analizaban cómo influye la temperatura [T] en la conducción eléctrica de un material de cobre [Cu], y de un semiconductor de silicio [Si]. Para ello, midieron cómo variaba la resistividad [ρ] de ambos materiales con la temperatura. Los resulta-

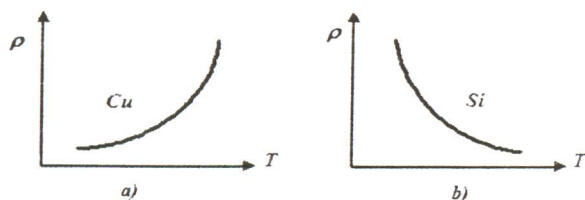


Figura C. Variación de la resistividad frente a la temperatura en: a) muestra de Cu, b) muestra de Si

dos obtenidos fueron representados en las dos gráficas de la figura C. Basándoos en lo que ya habéis aprendido sobre la teoría cinética, la energía de ionización, el enlace químico, etc., intentad interpretar esos resultados, respondiendo a las preguntas siguientes:

a) ¿Cómo varía la resistividad del Cu y del Si, a medida que aumenta la temperatura? b) ¿Cuál de las dos sustancias conducirá mejor la electricidad a altas temperaturas? ¿Por qué? c) ¿Crees que hay que hacer algún tipo de matización cuando se ofrecen los valores de la resistividad del Cu y del Si, y de cualquier material en general? d) 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, buscad información.

A modo de breve conclusión

Hemos argumentado la conveniencia didáctica que, a nuestro entender, supone enseñar nociones de electricidad tomando como punto de partida un conocimiento básico sobre la naturaleza y comportamiento de la materia. Creemos que se trata de una relación bastante descuidada, al menos en ES, y que, sin embargo, su planteamiento contribuye al aprendizaje integral de las ciencias físico-químicas.

Es conveniente decir, también, que la propuesta didáctica sugerida es fruto de la reflexión e investigación de un profesor de ciencias, dentro del contexto habitual de su práctica docente. Por tanto, la intención última es que, al menos, ésta sirva de referente para que otros profesores-investigadores emprendan nuevos diseños e investigaciones en la línea planteada.

El próximo paso será ensayar y analizar la eficacia de la nueva propuesta de enseñanza descrita, con nuevos alumnos. Asimismo, completaremos la unidad didáctica abordando la conducción eléctrica en disoluciones iónicas, a fin de reforzar más aún la interrelación física-química en torno al estudio de la electricidad.

Referencias

- Buty, C., Tiberghien, A. y Le Maréchal, J.F., Learning hypotheses and an associated tool to design and analyse teaching-learning sequences, *International Journal of Science Education*, 26(5), 579-604, 2004.
- Chevallard, Y., *La transposición didáctica*. Buenos Aires: Aique, 1997.
- Cohen, R., Eylon, B. y Ganiel, U., Potential difference and current in simple electric circuits: A study of students' concepts, *American Journal of Physics*, 51(5), 407-412, 1983.
- Coll, R.K. y Treagust, D.F., Investigation of secondary school. Undergraduate, and graduate learners' mental models of ionic bonding, *Journal of Research in Science Teaching*, 40(5), 464-486, 2003.
- Criado, A.M. y Cañal, P., Investigación de algunos indicadores del estatus cognitivo de las concepciones sobre el estado eléctrico, *Enseñanza de las Ciencias*, n° extra, 29-41, 2003.
- De Posada, J.M., Conceptions of high school students concern-

- ning the internal structure of metals and their electric conduction: structure and evolution, *Science Education*, 81, 445-467, 1997.
- Duit, R. y Rhöneck, C., Learning and understanding key concepts of electricity. En: A. Tiberghien, E. Leonard y J. Barojas (Eds.), *Connecting Research in Physics Education with Teacher Education*. International Commission on Physics Education, 1998. En: <http://www.physics.ohio-state.edu/~jossem/ICPE/C2.html>.
- Gamow, G., *Biografía de la Física*. Madrid, Alianza, 1996 (6ª ed.).
- Gao, W. y Sammes, N.M., *An introduction to electronic and ionic materials*. UK: World Scientific Publishing, 1998.
- García-Carmona, A., Los modelos atómicos en la Física y Química de la Educación Secundaria Obligatoria, *Revista Española de Física*, 16(3), 37-39, 2002.
- García-Carmona, A., Introducción a la configuración electrónica de los átomos en los niveles básicos de enseñanza, *Alambique: Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 40, 25-34, 2004.
- García-Carmona, A., Construcción de significados de física de semiconductores en Educación Secundaria. Fundamentos y resultados de una investigación, *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 28(4), 507-519, 2006a.
- García-Carmona, A., Influencia de la temperatura en el comportamiento eléctrico de los materiales: Análisis de su comprensión y dificultades de aprendizaje, *Investigações em Ensino de Ciências*, 11(1), 1-21, 2006b. En: <http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/revista.htm>.
- García-Carmona, A., *Estructura electrónica de los elementos y su comportamiento eléctrico: niveles de comprensión en alumnos de 14-15 años*. XXII Encuentros de Didáctica de las Ciencias Experimentales. Zaragoza: Universidad de Zaragoza, 2006c.
- García-Carmona, A., La estructura electrónica de los átomos en la escuela secundaria: un estudio de los niveles de comprensión, *Educ. quím.*, 17(4), 414-423, 2006d.
- Jolly, W.P., *Electronics* (3rd ed.). London, Hodder y Stoughton, 1984.
- Leach, J. y Scott, P., Designing and evaluating science teaching sequences: an approach drawing upon the concept of learning demand and a social constructivist perspective on learning, *Studies in Science Education*, 38, 115-142, 2002.
- Özmen, H., Some student misconceptions in chemistry: a literature review of chemical bonding, *Journal of Science Education and Technology*, 13(2), 147-159, 2004.
- Psillos, D., Koumaras, P. y Tiberghien, A., Voltage presented as a primary concept in an introductory teaching sequence on DC circuits, *International Journal Science Education*, 10(1), 29-43, 1988.
- Rocard, M., Csermely, P., Jorde, D., Lenzen, D., Walberg-Henriksson, H., y Hemmo, V., *Science education now: A renewed pedagogy for the future of Europe*. Brussels: European Commission Directorate-General for Research Information and Communication Unit, 2007.
- Rosado, L. y García-Carmona, A., Concepciones y dificultades de aprendizaje de estudiantes de Secundaria sobre el comportamiento eléctrico de los semiconductores y otros materiales. *XXI Encuentros de Didáctica de las Ciencias Experimentales* (pp. 273-280). San Sebastián: Universidad del País Vasco, 2004.
- Rosenthal, A.S. y Henderson, C., Teaching about circuits at the introductory level: An emphasis on potential difference, *American Journal of Physics*, 74(4), 324-328, 2006.
- Sanmartí, N. y Alimenti, G., La evaluación refleja el modelo didáctico: análisis de actividades de evaluación planteadas en clases de química, *Educ. quím.*, 15(2), 120-128, 2004.
- Stocklmayer, S. y Treagust, D.F., A historical analysis of electric current in textbooks: a century of influence on physics education, *Science and Education*, 3, 131-154, 1994.
- Tsaparlis, G. y Papaphotis, G., Quantum-chemical concepts: are they suitable for secondary students?, *Chemistry Education Research and Practice*, 3, 129-144, 2002.