

INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA EN EL COMPORTAMIENTO ELÉCTRICO DE LOS MATERIALES: ANÁLISIS DE SU COMPRENSIÓN Y DIFICULTADES DE APRENDIZAJE

(Influence of the temperature on materials electric behaviour: Understanding and students' learning difficulties)

Antonio García Carmona [agarcia@cofis.es]
Área de Ciencias, Colegio Luisa de Marillac
Sevilla, España

Resumen

En este artículo, defendemos la necesidad didáctica de que en la enseñanza/aprendizaje de la electricidad, se enlacen los contenidos con los referidos a la estructura y comportamiento de la materia. De este modo, se facilita, entre otras, la comprensión de aspectos como la influencia de la temperatura en el comportamiento eléctrico de los materiales. En este sentido, proponemos un marco conceptual para su enseñanza/aprendizaje, en el marco del currículo de Física y Química de Educación Secundaria español. Asimismo, mostramos los resultados de una investigación realizada con 60 alumnos de 3º de Secundaria (14-15 años), sobre los niveles de comprensión logrados en el marco propuesto, y las principales dificultades que se detectaron al respecto.

Palabras clave: dificultades de aprendizaje, electricidad, educación secundaria, resistividad, temperatura.

Abstract

In this article, we defend that in the teaching/learning of the electricity, its contents must be associated with contents concerning the structure and behaviour of the matter. Thus, it is possible to understand some electricity topics as the influence of the temperature on electric behaviour of materials. In this sense, we propose a conceptual framework for its teaching, coherent with the Spanish Physics and Chemistry curriculum of Secondary Education. Likewise, we show the results of a research carried out with 60 pupils (age 14-15), about their understanding levels and their learning difficulties regarding considered topic.

Key-words: *electricity, learning difficulties, resistivity, secondary education, temperature.*

Introducción

Las dificultades de enseñanza/aprendizaje de conceptos y fenómenos relacionados con la *electricidad*, han sido objeto de numerosos estudios en las últimas décadas. La mayoría de ellos se han dedicado a la comprensión de circuitos de corriente continua y campos eléctricos (Duit y Rhöneck, 1998; McDermott y Redish, 1999). Si bien, aun cuando existen razones didácticas fundamentadas, encontramos que son escasos los trabajos que se han ocupado de la enseñanza/aprendizaje de la *electricidad* a partir de nociones sobre la estructura y propiedades de la *materia* (De Posada, 1997; Rosado y García Carmona, 2004; García Carmona, 2006a). Probablemente, esta desatención tenga su origen en una cuestión epistemológica, ya que gran parte de los conceptos de *electricidad*, que hoy conocemos, surgieron durante los siglos XVIII y XIX (Guisasola, Montero y Fernández, 2005); es decir, antes de que se lograra un conocimiento profundo de la estructura interna de la materia, que llegaría a comienzos del siglo XX con el nacimiento de la Física Moderna.

Este hecho se pone de manifiesto en la mayoría de los libros de texto de Física y Química de Educación Secundaria, e, incluso, en los currículos oficiales correspondientes (véase, por ejemplo, CEJA, 2004). Suelen introducir los contenidos referidos a la *materia* y a la *electricidad* como temas independientes, sin que apenas se establezca relación entre ambos cuerpos conceptuales. Ello, además de no favorecer el *cambio conceptual* requerido para propiciar el aprendizaje significativo en Ciencias (Pozo y Gómez Crespo, 1998; Moreira y Greca, 2003), fomenta una visión desestructurada de la Ciencias, que se opone a la interdisciplinariedad necesaria en el desarrollo de las disciplinas que la componen.

Juiciosos con esta situación, desde hace algún tiempo venimos trabajando en un proyecto didáctico (Rosado y García Carmona, 2003, 2005; García Carmona, 2006b) orientado a la enseñanza/aprendizaje del comportamiento eléctrico de materiales, a partir de contenidos relativos a la estructura y propiedades de la materia (estructura atómica y subatómica, configuración electrónica, enlace químico, energía de ionización, teoría cinético-corpúscular, etc.). Todo ello, en el marco del currículo de Ciencias (Física y Química) propuesto para la Educación Secundaria (12-16 años), en España.

Uno de los objetivos básicos del proyecto es que los alumnos comprendan el comportamiento eléctrico de los materiales a partir de su estructura interna, y la influencia que sobre ello tienen algunos parámetros como la temperatura. Con el fin de analizar los niveles de comprensión y las dificultades de aprendizaje de los alumnos al respecto, realizamos una investigación durante los cursos 2002/03 y 2003/04. En este artículo mostramos los resultados más interesantes de la investigación.

Punto de partida y fundamentación conceptual

Diversos estudios (Andersson, 1990; Noh y Scharmann, 1997; Gutiérrez, Gómez Crespo y Pozo, 2002) han puesto de manifiesto las dificultades de aprendizaje de los alumnos sobre la estructura y el comportamiento de la materia. Estas dificultades aumentan cuando los alumnos tienen que justificar dicho comportamiento desde una perspectiva atómica (Lee *et al*, 1993; Harrison y Treagust, 1996; De la Fuente *et al*, 2003). El conocimiento de dichas dificultades resulta fundamental para nuestro planteamiento didáctico, ya que una adecuada comprensión del comportamiento eléctrico de los materiales exige que los alumnos conozcan cómo se organizan los átomos que los componen, y la manera en que se distribuyen los electrones en el interior de los mismos (García Carmona, 2006a). Si bien, teniendo en cuenta las capacidades de los alumnos de 14-15 años, este planteamiento se debe hacer desde una perspectiva pre-cuántica, con el uso de algún modelo atómico sencillo como el de Bohr. Un tratamiento cuántico de los contenidos, en la etapa educativa a la que nos referimos, supondría un obstáculo añadido para el aprendizaje de los alumnos (Tsaparlis y Papaphotis, 2002).

Teniendo en cuenta lo anterior, en nuestra propuesta de enseñanza 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 (García Carmona, 2004, 2006c). Ello le permitirá adquirir una primera idea del enlace químico y comprender ciertas propiedades físico-químicas de los materiales, como son el carácter conductor, aislante o semiconductor de electricidad. De este modo, con base en la *regla del octeto*, se intenta que los alumnos comprendan –en una primera aproximación–, que la estabilidad de los átomos

será tanto más fácil de alcanzar cuanto menos electrones tengan que ganar (los no metales) o perder (los metales), hasta poseer –salvo excepciones como, por ejemplo, el átomo de hidrógeno– 8 electrones en la última capa. Esta tendencia marcará el carácter conductor o aislante de los materiales. Así, la tendencia de los átomos metálicos a perder los electrones de valencia, hace que exista un gran número de electrones libres dispuestos a formar parte de una corriente eléctrica. En cambio, los átomos no metálicos de un material aislante, lejos de desprenderse de sus electrones de valencia, tienden a ganar los que les faltan, a fin de lograr la estabilidad; con lo cual, esos electrones están ligados a sus correspondientes átomos y tienen una escasa movilidad.

La *resistencia eléctrica*, como propiedad macroscópica, que da idea de la oposición que ofrecen los materiales al paso de corriente eléctrica (a consecuencia de sus dimensiones y estructura interna), suele ser bien asimilado por los alumnos. Sin embargo, el *concepto de resistividad* ofrece más dificultades de comprensión (Rosado y García Carmona, 2004, 2005). En Educación Secundaria apenas se hace alusión a este concepto, si bien, resulta esencial en el aprendizaje de la conducción eléctrica en los materiales. Como primera aproximación, en esta etapa se puede introducir la resistividad como una característica microscópica, propia de cada material, e independiente de sus dimensiones, que indica la oposición de éstos 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, las dificultades habituales de enseñanza y aprendizaje de ambos tópicos (Domínguez, De Pro y García-Rodeja, 1998; Taber, 2003). 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–, los cuales estarán dispuestos a formar una corriente eléctrica, si se le aplica el voltaje correspondiente. Ello explica la disminución de la resistividad de los semiconductores ante un aumento de la temperatura.

El concepto de semiconductor se construye a partir de las configuraciones electrónicas del silicio y el germanio, donde los alumnos deben concluir que ambos poseen 4 electrones de valencia. Este resultado produce una discusión interesante entre los alumnos, con afirmaciones como (Rosado y García Carmona, 2004): “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 estas ideas generan el conflicto cognitivo necesario, que lleve a los alumnos a comprender que son elementos con un comportamiento eléctrico intermedio a los metales y no metales; al menos a temperatura ambiente. A la hora de representar la estructura atómica de un semiconductor, empleamos el modelo bidimensional del enlace covalente. Se trata de un modelo clásico, bastante simplificado, que permite hacer una primera introducción al estudio de estos materiales en Educación Secundaria (García Carmona, 2006c). El empleo de otros modelos más complejos, como el de bandas de energía, plantearía –como hemos dicho– dificultades importantes a los alumnos de dicho nivel educativo, ya que se fundamentan en la teoría cuántica; la cual, además, se introduce en España a partir de Bachillerato (16-18 años).

¹ En 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.

Con el marco conceptual expuesto, intentamos que los alumnos, entre otros aspectos, comprendan cómo influye la temperatura en el comportamiento eléctrico de los materiales conductores y semiconductores.

Objetivo de la investigación

En el marco conceptual que acabamos de describir, y tal como se adelantaba al principio, el propósito de nuestra investigación era conocer las ideas y dificultades de aprendizaje de alumnos de 14-15 años, acerca de la influencia de la temperatura en el comportamiento eléctrico de algunos materiales. Concretamente nos cuestionamos:

¿Cuáles son los niveles de comprensión y las dificultades de aprendizaje habituales de los alumnos, en relación con la influencia de la temperatura en el comportamiento eléctrico de los materiales, una vez concluido el proceso de enseñanza/aprendizaje?

El *objetivo* de la investigación fue, por tanto, buscar respuestas a dicho interrogante.

Metodología

Como era la primera vez que realizábamos una investigación didáctica sobre el tema y, además, no teníamos evidencias de la existencia de investigaciones precedentes, repetimos la experiencia durante dos cursos académicos consecutivos (cursos 2002/03 y 2003/2004). La finalidad era poder contrastar resultados y verificar si estos aportaban, realmente, un patrón estable de ideas y dificultades de aprendizaje de alumnos sobre el tópico investigado.

Muestras

La investigación se realizó en un espacio natural de la práctica docente, con lo cual, no se hizo ningún proceso de selección de los alumnos (muestreo accidental). Participaron aquellos alumnos que se encontraban disponibles en el momento de ejecutar la investigación. Ésta se llevó a cabo en un centro de Educación Secundaria de Sevilla (España), con alumnos que estudiaban la asignatura de Física y Química en 3º de Educación Secundaria (14-15 años). Durante el curso 2002/03 participaron 33 alumnos, y en el curso siguiente (2003/04), 27 alumnos.

Descripción del proceso de enseñanza/aprendizaje

Antes de realizar las pruebas de evaluación del aprendizaje logrado, los alumnos fueron instruidos mediante una propuesta de enseñanza basada en el marco conceptual descrito. Ésta se desarrolla en forma de programa-guía de actividades, interconectadas y secuenciadas en orden creciente de dificultad. Por razones de espacio no incluimos la propuesta de enseñanza, si bien, con objeto de que el lector pueda hacerse una idea de las actividades que se plantean, en el cuadro I mostramos, a modo de ejemplo, algunas de ellas.

A.5 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 1. 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:

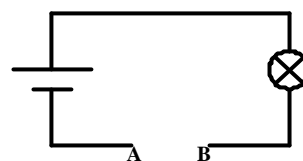


Figura 1

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.

A.9 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. Esta propiedad característica de cada material, que refleja la influencia de su naturaleza al paso de la corriente, se denomina **resistividad** (ρ), y su unidad es *ohmio-metro* ($\Omega \cdot m$). Con todo, la resistencia viene dada por la siguiente expresión:

$$R \propto \frac{L}{S}$$

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: $L = 0,2 m$ y $S = 10^{-5} m^2$. Compara ambos resultados y coméntalos.

A.13 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 estos 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?

Cuadro 1. Algunas de las actividades que componen la propuesta de enseñanza.

En la puesta en práctica de la propuesta de enseñanza, se promueve el *aprendizaje como una investigación orientada* (Wenning, 2005). De este modo, se intenta que los alumnos, en un clima de cooperación y diálogo, afronten el aprendizaje de los nuevos contenidos a partir de sus propias ideas –relacionadas con el tema–, con ayuda de la información suministrada en las actividades, y bajo la supervisión y orientaciones del profesor. Para ello, como estrategia de aprendizaje se fomenta la formulación de hipótesis, el análisis e interpretación de datos, la discusión y comprobación de las hipótesis, y la elaboración de conclusiones. Después, con las puestas en común de las actividades, se intenta que los alumnos comprueben y evalúen, junto al profesor, sus progresos y dificultades de aprendizaje.

La aplicación en el aula de la propuesta se desarrolla en unas 10 sesiones de clase, además del tiempo dedicado por los alumnos en casa. Las actividades se realizan, mayoritariamente, en grupos reducidos de alumnos (3 ó 4 componentes), con objeto de realizar, con posterioridad, la puestas en común. Esta estrategia metodológica la justificamos por el hecho de que la interacción entre individuos de un nivel cognitivo similar favorece al proceso de aprendizaje (Cordero *et al*, 2002). De modo que, en todo momento, se facilita a los alumnos la participación tanto dentro de los grupos como ante el conjunto de la clase.

Como aspecto importante, hemos de señalar que se trató de mantener constantes (con igual influencia para ambos grupos) factores que pudieran influir de manera diferenciada en los resultados de cada grupo investigado. Para ello, fueron instruidos por el mismo profesor

(uno de los autores de este trabajo), con la misma propuesta didáctica y durante, aproximadamente, el mismo número de sesiones.

Instrumentos de investigación empleados

A fin de evaluar los niveles de comprensión alcanzados por los alumnos después del proceso de enseñanza/aprendizaje, se les pidió que contestaran a las cuestiones del cuadro 2. Con objeto de analizar los niveles de comprensión y las dificultades de aprendizaje de los alumnos, se estableció una categorización de respuestas, teniendo en cuenta el marco conceptual en el que se desarrollan los contenidos que planteamos. Estos niveles de respuestas son:

- **Nivel I:** Respuesta en blanco.
- **Nivel II:** Respuesta equivocada o confusa, en el sentido de que no comprende o no aplica adecuadamente los conceptos manejados.
- **Nivel III:** Respuesta en la línea correcta, pero que se justifica de manera incompleta, o con alguna imprecisión.
- **Nivel IV:** Respuesta correcta y justificada adecuadamente.

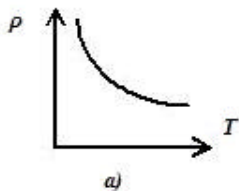
Asimismo, con el propósito de complementar la información obtenida mediante las cuestiones escritas, se entrevistó a un total de 22 alumnos, escogidos al azar. Las entrevistas se hicieron dos semanas después de concluir el proceso de enseñanza/aprendizaje. Se empleó el método de entrevista dirigida (Padilla, 2002), con objeto de extraer la máxima información de las ideas adquiridas por los alumnos. Se observaron, prácticamente, las mismas argumentaciones que con las cuestiones anteriores.

1) La distribución electrónica del elemento que compone cierto material es (2, 8, 4). A temperatura ambiente:

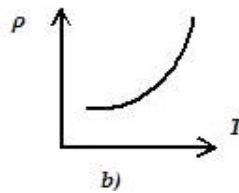
- a) Es mejor conductor que los metales.
- b) Es mejor aislante que los no metales.
- c) Es mejor conductor que los no metales y peor conductor que los metales.
- d) Es peor conductor que los no metales y peor aislante que los metales.

Explicación: _____

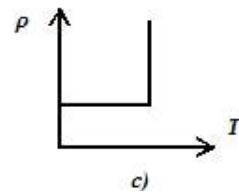
2) Indica cuál de las siguientes gráficas representa la variación de la resistividad (?) de un semiconductor puro con la temperatura (T). Justifica tu elección.



a)



b)



c)

3) ¿Por qué un "material conductor" conduce mal la electricidad a altas temperaturas? Explícalo razonadamente.

4) A altas temperaturas, los semiconductores puros son:

- a) Buenos aislantes.
- b) Buenos conductores.
- c) Buenos conductores, pero peores que los metales (también a altas temperaturas).

Explicación: _____

Cuadro 2. Cuestionario orientado a indagar las ideas y argumentaciones de los alumnos acerca de la influencia de la temperatura en la conducción eléctrica de los materiales.

Resultados y discusión

Contrastación de los niveles de aprendizaje entre los grupos investigados

Antes de analizar las ideas y dificultades de los alumnos, mediante el cuestionario, comprobamos si existían diferencias significativas en los resultados obtenidos en las dos ocasiones de la investigación. Teniendo en cuenta el carácter ordinal de la clasificación de niveles de respuestas establecida, aplicamos la prueba de contraste no paramétrica *U de Mann-Whitney*. Los resultados de esta prueba (tabla 1) indican que no existían diferencias significativas en los niveles de comprensión, alcanzados por los alumnos en las dos ocasiones. Ello nos permitió considerar a los dos grupos de alumnos investigados como si fuesen una sola muestra ($n=60$); asimismo, esto nos confirmaba, de alguna manera, la existencia de un patrón estable de concepciones y razonamientos de alumnos de 14-15 años sobre el tópico investigado.

	Cuestión 1	Cuestión 2	Cuestión 3	Cuestión 4
U de Mann-Whitney	407,000	421,500	430,000	437,000
Z	-0,616	-0,380	-0,246	-0,133
Significación asintótica (bilateral)	0,538*	0,704*	0,805*	0,894*
* No existen diferencias significativas a un nivel de significación del 5% ($p>0,05$)				

Tabla 1. Contraste del nivel cognitivo alcanzado, en las preguntas del cuestionario, por los grupos investigados.

En lo siguiente analizamos los niveles de respuestas demostrados por los alumnos en el cuestionario. Para cada nivel, indicamos los razonamientos y dificultades más frecuentes de los alumnos, y como indicadores de dichos niveles de respuestas, exponemos numerosos ejemplos de las contestaciones de los alumnos.

Niveles de comprensión y dificultades de aprendizaje detectadas con las cuestiones

Cuestión 1

En la **cuestión 1**, un 7% del alumnado dejó su respuesta en blanco (nivel I), y un 18% contestó de manera equivocada (nivel II). Lo más destacado de las respuestas de nivel II, es que una parte importante de los alumnos cree que el comportamiento eléctrico intermedio de los semiconductores, a temperatura ambiente, viene dado porque tienen, simultáneamente, las propiedades de conductores y de aislantes (*'dualidad conductor-aislante'*):

«[...] Al tener cuatro da igual que reciba 4 electrones para ser estable que le quiten 4 electrones para ser estable. De forma que en sus átomos habrá algunos que dejen pasar electrones y otros no.» (Nivel II; estudiante, curso 2002/03).

«[...] porque es un semimetal, 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).» (Nivel II; estudiante del curso 2002/03).

El nivel III de respuestas, alcanzado por un 48% de los alumnos, se caracteriza por una escasa profundización en sus argumentos y justificaciones. Un ejemplo:

«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.» (Nivel III; estudiante del curso 2002/03) [No cursiva añadida].

El nivel de respuesta más alto, nivel IV, fue logrado un 27% de los alumnos. Las respuestas de este nivel fueron similares a la siguiente:

«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.» (Nivel IV; estudiante del curso 2003/04).

Cuestión 2

En la **cuestión 2**, encontramos que el 9% de los alumnos no sabe qué contestar (nivel I), y el 35% contesta de manera inadecuada (nivel II). Entre las respuestas del nivel II, descubrimos la idea de uniformidad en el comportamiento eléctrico de diferentes materiales, con independencia de su naturaleza; concretamente, que el comportamiento de un semiconductor es el mismo que el de un conductor a elevadas temperaturas:

«La respuesta es la b), porque dice que a mayor temperatura mayor resistividad. Todos los materiales tienen una resistividad mayor cuanto mayor es su temperatura.» (Nivel II; alumno del curso 2002/03).

«Es la gráfica b) porque a más temperatura aumenta más la resistividad. Las otras dos gráficas no son correctas en los semiconductores, porque no sería cierto lo siguiente: que los semiconductores son mejores conductores que los elementos metálicos.» (Nivel II; alumna del curso 2003/04).

Otro aspecto que observamos, en las respuestas del nivel II, es la dificultad de los alumnos para interpretar gráficamente la relación entre parámetros físicos, como la variación de la *resistividad* eléctrica de un semiconductor con la *temperatura*. Se observa que, o eligen la gráfica correcta para interpretarla de manera incorrecta, o bien optan por una incorrecta para interpretarla como si fuese la correcta. Esto último es debido, quizás, a que saben – aunque no lo deduzcan de la gráfica– que la resistividad de un semiconductor disminuye a medida que aumenta su temperatura. Estos problemas vienen a confirmar las dificultades de tipo matemático que, habitualmente, se detectan en el aprendizaje de la Física a estas edades. Véase, como ejemplo, la siguiente respuesta:

«La respuesta es la b) ya que a medida que avanza la temperatura disminuye la resistividad. La a) no puede ser; es contraria a esa propiedad que tienen los semiconductores. En los semiconductores a temperatura ambiente su resistividad es grande, es decir, ‘pone’ mucha dificultad a la conducción de esos electrones libres de los que dispone; a medida que aumenta su temperatura la resistividad es menor (menor dificultad a la conducción de electrones libres). La c) tampoco podría ser, debido a que la temperatura va uniformemente y cambia la resistividad radicalmente.» (Nivel II; alumno del curso 2003/04).

En el nivel II, también detectamos que los alumnos reconocen la gráfica *resistividad-temperatura* correcta de un semiconductor, pero luego no lo justifican adecuadamente; quizás, como consecuencia de un aprendizaje memorístico. Un ejemplo:

«La gráfica que lo explica es la a), ya que a mayor temperatura, mayor resistividad y eso es lo que nos explica esa gráfica. Las otras no pueden ser porque la b) indica que a menor temperatura mayor resistividad; y la explicación de la c) no sé como expresarla.» (Nivel II; alumna del curso 2002/03).

Asimismo, en las respuestas de nivel II, se observa que los alumnos parecen confundir la relación causa-efecto entre la temperatura y la resistividad en un semiconductor, cuando justifican sus respuestas. Véanse los siguientes ejemplos:

«Es la a) porque los semiconductores cuando tienen mayor resistividad disminuyen su temperatura. No son las otras dos porque si un material está a alta temperatura no puede tener menor resistividad.» (Nivel II; alumno del curso 2003/04).

«Es la a), porque a mayor resistividad menor temperatura.» (Nivel II; alumno del curso 2003/04).

El nivel III fue declarado por el 31% de los alumnos. En este nivel, los alumnos eligen la respuesta correcta, aunque sus argumentos justificativos son un tanto superficiales e incompletos; es decir, no profundizan en la explicación de por qué un semiconductor disminuye su resistividad a medida que aumenta su temperatura. Esto se puede observar en el siguiente ejemplo:

«Es la opción a), ya que ‘a mayor temperatura menor resistividad’, y al observar las otras dos [gráficas], la b) sería ‘a menor temperatura, mayor resistividad’. Y en el caso c) sería ‘a igual temperatura, igual resistividad’.» (Nivel III; alumno del curso 2003/04) [No cursiva añadida].

El nivel más alto (nivel IV) es alcanzado por un 25% de los alumnos. Estas son algunas de las respuestas de este nivel:

«Es la gráfica a) porque a temperatura ambiente el semiconductor tiene bastante resistividad pero a medida que su temperatura aumenta, los electrones de su interior van quedando libres y se convierte en mejor conductor que el propio conductor. Las otras dos no pueden ser porque simplemente la gráfica b) empieza con poca resistividad y aumenta con la temperatura, es decir, pertenece a un conductor, y la otra por la simple razón de que es ilógica ya que al aumentar la temperatura su resistividad se queda igual y en lo último sube bruscamente.» (Nivel IV; alumna del curso 2002/03).

«La respuesta es la a), porque un material semiconductor, al aumentar la temperatura, disminuirá su resistividad. Los casos b) y c) no pueden ser; por ejemplo, el caso b) es el de un metal, que al aumentar la temperatura, aumenta su resistividad. En un semimetal, 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.» (Nivel IV; alumno del curso 2003/04). [No cursiva añadida].

Cuestión 3

En la **cuestión 3** se intenta comprobar si los alumnos distinguen, verdaderamente, entre el comportamiento de un conductor y un aislante a altas temperaturas. Hallamos que el 10% de los alumnos deja su respuesta en blanco (nivel I), y que el 30% explica equivocadamente por qué un material conductor “conduce mal” la electricidad a altas temperaturas (nivel II). Entre las explicaciones de los alumnos, destaca la idea de que una baja resistividad eléctrica de un material disminuye su capacidad de conducción:

«Porque los electrones cuando hay más temperatura de lo normal, lo que sucede es que [el conductor] va perdiendo resistividad. Por eso los conductores son malos conductores a altas temperaturas.» (Nivel II; alumno del curso 2002/03). [No-cursiva añadida]

Otra idea inadecuada detectada, que contradice a la teoría cinético-corpúscular, considera que la pérdida de conducción eléctrica en un “conductor”, a altas temperaturas, se explica a partir de un ‘efecto de compensación’, en el que los electrones reducen su movilidad con el fin de evitar el calentamiento del material:

«Es porque en un conductor cuando se le aumenta la temperatura, los electrones empiezan a pararse, y así sube la resistividad, y a su vez la resistencia. Y como tiene más resistencia que antes, es peor conductor.» (Nivel II; alumna del curso 2002/03).

«Porque su resistividad a las altas temperaturas ya está en un punto muy alto y no puede resistir más temperatura, por lo tanto debe pasar la energía [electricidad] con menos cantidad [electrones] para que no se caliente.» (Nivel I; alumno del curso 2003/04). [No-cursiva añadida]

El nivel III (explicación en la línea correcta pero incompleta, o con alguna imprecisión) fue declarado por el 42% de los alumnos. Un ejemplo de respuesta de este nivel es el siguiente:

«Porque a diferencia de los semiconductores, cuando a un conductor le aumentas la temperatura, a la vez aumenta su resistividad, lo cual hace que no conduzca bien la electricidad.» (Nivel III; alumno del curso 2002/03).

El nivel máximo de conocimiento (nivel IV) fue logrado por el 18% de los alumnos. Estas son algunas de las respuestas de este nivel:

«A altas temperaturas el conductor consigue una alta resistividad. Porque cuando se le aumenta la temperatura, se le aumenta el número de electrones libres, más los que ya tenían de un principio, se chocan entre ellos ya que son demasiados, subiéndole la resistividad y haciendo que conduzca mal la electricidad.» (Nivel IV; alumno del curso 2002/03).

«Porque al aumentar la temperatura, también aumenta la resistividad. El aumento de temperatura provoca que los átomos en sus posiciones fijas se agiten; los electrones libres chocan con más frecuencia con ellos, esa es la explicación de que aumente la resistividad.» (Nivel IV; alumno del curso 2003/04).

Cuestión 4

En la **cuestión 4**, el 7% de los alumnos dejó su respuesta en blanco (nivel I) y el 38% contestó de manera incorrecta (nivel II). Entre las respuestas del nivel II, se vuelve a observar –como en la cuestión 2– la idea de que el comportamiento eléctrico de un semiconductor, a altas temperaturas, es el mismo que el de un material metálico:

«Serán buenos aislantes. Porque al tener mayor temperatura, existen más electrones libres que impiden el paso de la corriente eléctrica.» (Nivel II; estudiante del curso 2002/03).

«No serán buenos conductores porque tendrán más electrones libres y esto dificulta la conducción, ya que a altas temperaturas se rompen los enlaces covalentes.» (Nivel II; estudiante del curso 2003/04).

Otra concepción equivocada es la que considera que los semiconductores, aun cuando mejoran su conductividad eléctrica a altas temperaturas, no llegan a ser mejores conductores que los materiales metálicos. Es decir, se asume, por un lado, que un material metálico mantiene su baja resistividad eléctrica a altas temperaturas, y, por otro, que los semiconductores no logran disminuir su resistividad a altas temperaturas. Algunas de las respuestas de alumnos, que ponen de manifiesto la idea anterior:

«Peores conductores que los metales, porque si sube su temperatura [el semiconductor intrínseco] se hacen mejores conductores, pero nunca conducirán igual de bien que un metal, que es de por sí un conductor.» (Nivel II; estudiante del curso 2002/03).

«[...] Peores conductores que los metales. A altas temperaturas, los electrones del semiconductor vibran y se sueltan de sus enlaces, llegando a ser [los semiconductores intrínsecos] buenos conductores, aunque no llegan a ser tan buenos como los metales [...].» (Nivel II; estudiante del curso 2003/04). [No cursiva añadida].

El nivel III (respuestas correcta pero con la justificación un tanto incompleta) fue declarado por el 23% de los alumnos. En las respuestas de este nivel, se observa que los alumnos saben que, a altas temperaturas, un semiconductor intrínseco se convierte en buen conductor de la electricidad, porque baja su resistividad; pero no explican por qué está motivada esa bajada de la resistividad:

«b). Porque un semiconductor, a altas temperaturas, disminuye su resistividad, por lo tanto, también su resistividad; y así son mejores conductores.» (Nivel III; estudiante del curso 2002/03).

«b). Son buenos conductores, porque en clase hemos estudiado que a altas temperaturas los semiconductores puros bajan su resistividad; y a bajas temperaturas la tienen alta, por lo que son buenos aislantes.» (Nivel III; estudiante del curso 2003/04).

El nivel máximo de conocimiento (nivel IV) fue declarado por el 32% de los alumnos. Algunas de las respuestas de este nivel:

« [...] Buenos conductores, porque en los semiconductores cuando le sometemos a altas temperaturas, se rompen sus enlaces y se liberan electrones, y esos electrones están

dispuestos para una conducción eléctrica; por eso se dice que son buenos conductores a altas temperaturas.» (Nivel IV; estudiante del curso 2002/03).

«[Buenos conductores]. *Porque los conductores, al tener muchos electrones libres de por sí [a temperatura ambiente], a altas temperaturas quedan saturados; mientras que los semiconductores intrínsecos, como tienen pocos electrones libres [a temperatura ambiente], al someterse a altas temperaturas, se liberan más electrones y, por tanto, se convierte en mejor conductor que el mismo metal.»* (Nivel IV; estudiante del curso 2003/04). [No cursiva añadida].

	Nivel I	Nivel II	Nivel III	Nivel IV	Nivel III + Nivel IV
Cuestión 1	7%	18%	48%	27%	75%
Cuestión 2	9%	35%	31%	25%	56%
Cuestión 3	10%	30%	42%	18%	60%
Cuestión 4	7%	38%	23%	32%	55%

Tabla 2. Distribución de frecuencias en cada uno de los niveles de respuestas al cuestionario, y frecuencias acumuladas en los niveles de respuesta más altos (niveles III y IV).

En líneas generales, y a la vista de los porcentajes acumulados en los niveles de respuesta más altos (tabla 2), podemos decir que el grado de comprensión demostrado por los alumnos, en el cuestionario, fue tímidamente satisfactorio. Únicamente podemos destacar el alto nivel de comprensión logrado en la cuestión 1. En ésta, las tres cuartas partes de los alumnos reconocen a un material semiconductor a partir de la configuración electrónica de sus elementos, y su comportamiento eléctrico a temperatura ambiente. En el resto de las cuestiones (2, 3 y 4), los niveles de respuestas más altos (respuestas adecuadas, o próximas a éstas) sólo fueron expresadas por algo más de la mitad de los alumnos. De las respuestas equivocadas en dichas cuestiones, se vislumbra que los alumnos tienen dificultades para: a) reconocer y comprender la influencia de la temperatura en la resistividad eléctrica de los materiales; b) diferenciar el comportamiento eléctrico de conductores y semiconductores a altas temperaturas; c) comprender la relación de la resistividad con la capacidad de conducción eléctrica de los materiales. En la tabla 3, se hace una síntesis de las ideas alternativas más frecuentes de los alumnos sobre el tópico analizado.

- 1.** *A temperatura ambiente, los semiconductores tienen, simultáneamente, propiedades de conductores y de aislantes.*
- 2.** *El comportamiento eléctrico de materiales conductores y semiconductores es similar a elevadas temperaturas.*
- 3.** *Las variaciones de temperatura de un semiconductor vienen determinadas por variaciones del valor de su resistividad, y no al revés.*
- 4.** *La baja resistividad eléctrica de un material disminuye su capacidad de conducción.*
- 5.** *La pérdida de conducción eléctrica en un metal, a altas temperaturas, se debe a un “efecto de compensación”, por el que los electrones reducen su movilidad, con objeto de evitar el calentamiento del material.*

Tabla 3. Ideas alternativas más frecuentes de los alumnos sobre la influencia de la temperatura en el comportamiento eléctrico de los materiales.

Resultados de las entrevistas personales

Con la intención de complementar la información obtenida mediante el cuestionario, se entrevistó a 22 alumnos, escogidos al azar, entre los que participaron en la investigación. Las entrevistas se hicieron dos semanas después de concluir el proceso de enseñanza/aprendizaje. Se observaron, prácticamente, las mismas ideas y argumentaciones que mediante las cuestiones escritas; con lo cual, se confirma, aún más si cabe, la existencia de un marco consistente de concepciones y razonamientos en los alumnos sobre el tópico estudiado. En lo que sigue, describiremos algunos de los argumentos y explicaciones de los alumnos, en relación con el comportamiento eléctrico de los semiconductores con la temperatura.

Como ya se puso de manifiesto en la prueba escrita, una de las ideas alternativas de los alumnos es la confusión de la relación causa-efecto entre la temperatura y la resistividad, al explicar la liberación de electrones en un semiconductor:

- **Profesor:** *¿Por qué un material semiconductor es mejor conductor que un material metálico a altas temperaturas?*
- **Alumno A (curso 2002/03):** *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 [...].*

Se vuelve a detectar la idea equivocada de que los semiconductores tienen el mismo comportamiento eléctrico que los materiales conductores, ante cambios de temperatura:

- **Profesor:** *¿Por qué un material semiconductor es mejor conductor que un material metálico a altas temperaturas?*
- **Alumno B (curso 2003/04):** *Porque a un semiconductor, si le aumentamos la temperatura, 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?*
- **Alumno B:** *Se convierte en buen conductor [...].*

Otros alumnos explican sus argumentos en la línea correcta, pero con escaso uso de términos científicos:

- **Profesor:** *¿Por qué un material semiconductor es mejor conductor que un material metálico a altas temperaturas?*
- **Alumna C (curso 2003/04):** *Pues porque el metal a temperatura ambiente tenía los electrones muy sueltos, entonces al aumentar la temperatura, se liberan más y se genera un caos y no conduce. Y en el semiconductor eh..., tenía los electrones quietos... más quietos que el metal, a temperatura ambiente, y a mayor temperatura se liberaban y conducía mejor.*

Asimismo, se observa que los alumnos explican bien por qué un conductor conduce mal la electricidad a altas temperaturas, pero no justifican adecuadamente por qué los semiconductores son buenos conductores a esas temperaturas:

- **Profesor:** *¿Por qué un material semiconductor es mejor conductor que un material metálico a altas temperaturas?*
- **Alumno D (curso 2002/03):** *Porque... eh... en el conductor, como es tan buen conductor a temperatura ambiente, cuando le subes la temperatura, hace que vibren más los átomos y empiecen a chocar los electrones entre ellos impidiendo que pase la electricidad. Y los semiconductores [a altas temperaturas], eh... tienen menor resistividad y eso hace que conduzca mejor la electricidad. [No cursiva añadida]*

Los niveles más altos de comprensión fueron expresados de modo similar al siguiente:

- **Profesor:** *¿Por qué un material semiconductor es mejor conductor que un material metálico a altas temperaturas?*
- **Alumna E (curso 2003/04):** *Porque a altas temperaturas, los electrones [del semiconductor], que estaban bien ligados, comienzan a vibrar y se sueltan cuando alcanzan la energía de ionización. Esto permite que haya una mejor corriente eléctrica. [No cursiva añadida]*
- **Profesor:** *¿Y eso mismo no le pasa también a los metales?*
- **Alumna E:** *No, porque a esa temperatura se produce un colapso de electrones.*
- **Profesor:** *¿Por qué?*
- **Alumna E:** *Porque a temperatura ambiente ya hay una buena cantidad de electrones [libres] y cuando se sube la temperatura, a parte de que hay demasiados electrones, los átomos vibran más y se produce un colapso por los choques. [No cursiva añadida]*

Conclusiones y perspectivas

A la vista de los resultados obtenidos en la investigación, podemos decir los alumnos han desarrollado ideas y razonamientos, sobre el tópico investigado, en la línea correcta, aunque con ciertas imprecisiones y equivocaciones respecto a las ideas científicamente aceptadas. Somos conscientes de que es el primer nivel educativo donde los alumnos acceden a los contenidos tratados, así como de la dificultad que supone lograr un aprendizaje significativo en Ciencias; y más aún si se aborda la perspectiva microscópica de la materia. Pero, teniendo en cuenta que nos encontramos en los primeros pasos de nuestro proyecto didáctico, los resultados obtenidos nos motivan para continuar profundizando en la mejora de la enseñanza/aprendizaje del tópico científico investigado.

Creemos, en ese sentido, que un resultado interesante y novedoso de la investigación es la detección de un marco de concepciones alternativas, de alumnos de 14-15 años, en relación con la influencia la temperatura en el comportamiento eléctrico de los materiales (tabla 3). Su conocimiento nos va a permitir perfeccionar, de forma paulatina, la eficacia didáctica de nuestra propuesta en acciones sucesivas. Asimismo, pensamos que pueden servir de referente a otros profesores, de otros contextos educativos, cuando planteen la enseñanza de estos contenidos con sus alumnos.

Para finalizar, esperamos que los resultados de esta investigación propicien el planteamiento de nuevas investigaciones, que profundicen en los aspectos aquí expuestos, y proporcionen mayor luz a la problemática planteada. Porque el progreso en la enseñanza/aprendizaje de las Ciencias debe venir dado, entre otros aspectos, por una revisión continua de los contenidos y de las ideas y modos de razonamientos de los alumnos.

Referencias

- ANDERSSON, B. (1990). Pupils' conceptions of matter and its transformations (age 12-16). *Studies in Science Education*, 18, pp. 53-85.
- CEJA (Consejería de Educación de la Junta de Andalucía, España) (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.
- 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.
- DE POSADA, J.M. (1997). Conceptions of High School Students Concerning the Internal Structure of Metals and their Electric Conductions: Structure and Evolution. *Science Education*, 81, pp. 445-467.
- 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.
- 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). En: <http://www.physics.ohio-state.edu/~jossem/ICPE/C2.html>.
- 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. (2006a). Estructura electrónica de los elementos y su comportamiento eléctrico: niveles de comprensión en alumnos de 14-15 años. *Actas de los XXII Encuentros de Didáctica de las Ciencias Experimentales* (Zaragoza, España).
- GARCÍA CARMONA, A. (2006b). *Diseño y evaluación de módulos didácticos de Física de Semiconductores. Su aplicación en Enseñanza Secundaria en un marco constructivista*. Tesis Doctoral. Madrid: Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED).
- GARCÍA CARMONA, A. (2006c). La estructura electrónica de los átomos en la Escuela Secundaria: un estudio de los niveles de comprensión. *Educación Química* (en prensa).

- GUISASOLA, J., MONTERO, A., Y FERNÁNDEZ, M. (2005). Concepciones de futuros profesores de Ciencias sobre un concepto «olvidado» en la enseñanza de la Electricidad: *la fuerza electromotriz*. *Enseñanza de las Ciencias*, 23(1), pp. 47–60.
- GUTIÉRREZ, M.S.; GÓMEZ CRESPO, M.A. y POZO, J.I. (2002). Conocimiento cotidiano frente a conocimiento científico en la interpretación de las propiedades de la materia. *Investigações em Ensino de Ciências*, 7(3). En: http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/vol7/n3/v7_n3_a1.htm.
- HARRISON, A. y TREAGUST, D. (1996). Secondary students' mental models of atoms and molecules: implications for teaching chemistry. *Science Education*, 80(5), pp. 509-534.
- LEE, O., EICHINGER, D.C., ANDERSON, C.W., BERKHEIMER, G.D. y BLAKESLEE, T.S. (1993). Changing middle school students' conceptions of matter and molecules. *Journal of Research in Science Teaching*, 30(3), pp. 249-270.
- 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.
- McDERMOTT, L.C. y REDISH, E.F. (1999). Physics Education Research. *The American Journal of Physics*, 67(9), pp. 755-767.
- MOREIRA, M.A. y GRECA, I. (2003). Cambio conceptual: análisis crítico y propuestas a la luz de la teoría del aprendizaje significativo. *Ciência & Educação*, 9 (2), pp. 301-315.
- PADILLA, M.T. (2002). *Técnicas e instrumentos para el diagnóstico y la evaluación educativa*. Sevilla: CCS.
- PIERRET, R.F. (1994). *Fundamentos de semiconductores* (2ª ed). USA: Addison-Wesley Iberoamericana.
- POZO, J.I. y GÓMEZ CRESPO, M.A. (1998). *Aprender y enseñar Ciencia*. Madrid: Morata.
- 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 Colaboradores, *Didáctica de la Física y sus Nuevas Tendencias (Manual de 2003)*, pp. 425-456. Madrid: UNED.
- ROSADO, L. y GARCÍA CARMONA, A. (2004). Concepciones y dificultades de aprendizaje de estudiantes 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.
- ROSADO, L. y GARCÍA CARMONA, A. (2005). 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). En: <http://www.blues.uab.es/rev-ens-ciencias>.
- TABER, K.S. (2003). Understanding ionization energy: physical, chemical and alternative conceptions. *Chemistry Education Research and Practice*, 4, pp. 149-169.

- TSAPARLIS G. y PAPAPHOTIS, G. (2002). Quantum-chemical concepts: are they suitable for secondary students? *Chemistry Education Research and Practice*, 3, pp. 129-144.
- WENNING, C.J. (2005). Implementing inquiry-based instruction in the science classroom: A new model for solving the improvement-of-practice problem. *Journal of Physics Teacher Education Online*, 2(4), pp. 9-15. En: <http://www.phy.ilstu.edu/jpteo>.