

UNA PROPUESTA DIDÁCTICA PARA LA ENSEÑANZA DEL CONCEPTO DE ENLACE QUÍMICO EN SECUNDARIA.

Manuela Martín
Pedro J. Sánchez
Universidad Complutense de Madrid

1. INTRODUCCIÓN

Uno de los conceptos fundamentales para la comprensión de la estructura de la materia es el de **enlace químico**. A pesar de su extraordinaria importancia dentro de la teoría química, los trabajos sobre la didáctica de este concepto, sobre todo, en educación secundaria son muy escasos. Esta carencia resulta todavía más grave si se tiene en cuenta los grandes problemas que supone la enseñanza del concepto de enlace químico en el ámbito universitario (Hawkes, 1998). En este trabajo, analizamos el concepto de enlace químico desde una perspectiva didáctica. En función de este análisis, presentamos una propuesta de actuación docente, encuadrada en principio en el Bachillerato (si bien podría adaptarse también al último curso de la E.S.O.) para la enseñanza del concepto de enlace químico. Los objetivos que nos planteamos son:

1. Diseñar y elaborar materiales que permitan al alumno contrastar macroscópicamente aspectos microscópicos relacionados con el enlace químico.
2. Proporcionar a los profesionales de la enseñanza un ejemplo de enseñanza en paralelo de los aspectos microscópicos y macroscópicos de la estructura de la materia.
3. Fomentar el debate en la comunidad didáctica sobre la enseñanza de aspectos fundamentales de la estructura de la materia.

2. CONSIDERACIONES DIDÁCTICAS

La naturaleza de la materia, y su conexión con las ideas de la teoría cinética y molecular es uno de los tópicos más estudiados en la investigación sobre la

educación en ciencias. Estas investigaciones han señalado varios aspectos importantes sobre la enseñanza de estos conceptos en el ámbito de secundaria:

1. Los alumnos a nivel de secundaria suelen aceptar una descripción de las sustancias como formadas por partículas microscópicas, si bien aparecen diferentes concepciones alternativas (a menudo reforzadas por los libros de texto, o por la intervención didáctica del profesor) sobre la naturaleza y propiedades de los átomos y moléculas en los diferentes estados de agregación (ver, p.ej., a modo de revisión , Krnel et al., 1998).
2. A su vez, la enseñanza de la teoría cinética como “puente” entre esta descripción microscópica y los fenómenos macroscópicos suele presentar dificultades (Scott, 1987; Pines y West, 1986; Millar, 1990).

Estos estudios han llevado a algunos autores a proponer que la enseñanza de la estructura de la materia a escala microscópica no puede ser eficaz hasta que los fenómenos macroscópicos son correctamente entendidos (Millar, 1990; Lee et al. 1993). Por otro lado, como se ha señalado, esta postura presenta el problema de que es precisamente la descripción microscópica de la materia la que aporta un modelo coherente para entender los procesos macroscópicos. A su vez, una enseñanza que parta exclusivamente de la descripción microscópica de la materia choca con el problema de que los conceptos a enseñar pueden quedar aislados de la experiencia de los alumnos, de manera que este enfoque tampoco parece, a priori, el más adecuado para facilitar la construcción de aprendizajes significativos sobre el tema (Ben-Zvi et al. , 1986; de Vos y Verdonk, 1987).

De una manera hasta cierto punto intermedia, algunos autores (Hesse y Anderson, 1992) han propuesto una enseñanza paralela de los modelos microscópicos y macroscópicos, orientada a que el alumno pueda utilizar ambas concepciones al enfrentarse a un hecho determinado. Esta línea parece en principio bastante más potente, si bien presenta varios problemas:

1. Muchos fenómenos macroscópicos no presentan una correspondencia evidente con los diferentes aspectos del modelo microscópico.
2. Se corre el riesgo de los alumnos atribuyan a las partículas que forman una sustancia propiedades macroscópicas (moléculas de cloro verdes, átomos de cobre maleables, etc.; Ben-Zvi et al., 1986).
3. Varios autores han señalado que los diagramas que aparecen en muchos libros de texto para explicar la correspondencia entre propiedades microscópicas y macroscópicas pueden conducir a la generación de ideas erróneas en los alumnos (Hill, 1988; Anderson, 1990).

En definitiva, la enseñanza de la estructura y propiedades de la materia dentro de este planteamiento, si bien bastante prometedora, requiere un enfoque cuidadoso y bien reflexionado.

El concepto de enlace químico es básico para la comprensión de la estructura de la materia, y por lo tanto parece evidente la necesidad de incluirlo en la enseñanza de este campo en secundaria. La enseñanza de este concepto presenta las siguientes peculiaridades:

- Las evidencias macroscópicas que se derivan de las propiedades de los enlaces químicos no son obvias en la mayoría de los casos. Podemos separar estas consecuencias en varios grupos:
 - a. Evidencias directas: Existe toda una “batería” de contrastaciones experimentales directas de la teoría molecular, si bien todas ellas se sitúan en un nivel bastante superior al que se pretende en secundaria.
 - b. Sustancias elementales y sustancias compuestas: La distinción entre elemento químico y compuesto químico lleva implícita la idea de enlace entre átomos de distintos elementos. Con todo, la evidencia experimental de esta distinción dista de ser directa, y no parece una estrategia muy prometedora de enseñanza.
 - c. Estequiometría: Las diferentes relaciones estequiométricas se pueden derivar de manera directa a partir del modelo molecular de las sustancias. Ahora bien, esta “deducción” de los principios estequiométricos a partir de consideraciones microscópicas, si bien es interesante dentro de un marco de enseñanza del nivel microscópico y macroscópico “en paralelo” (a la vez que útil para presentar el concepto de mol) deja aparte consideraciones sobre las propiedades de los enlaces químicos.
 - d. Estudio de propiedades físicas macroscópicas de las sustancias: Las propiedades macroscópicas de una sustancia están determinadas por su estructura molecular. En muchos casos, esta relación microscópico-macroscópico puede ser investigada mediante experiencias sencillas, fáciles de realizar en el aula.
- El enlace químico no tiene una entidad física como la pueden tener los átomos o las moléculas; no existen unas entidades independientes llamadas enlaces químicos. El enlace químico, en rigor, se debe definir a partir de aspectos bastante abstractos de la Teoría Cuántica aplicada a los sistemas moleculares. Frente a este enfoque “rigorista”, el concepto de enlace químico es presentado invariablemente en cursos introductorios a partir de consideraciones cualitativas que, como indicábamos en la sección anterior, se remontan al período anterior al desarrollo de la

teoría cuántica. Recientemente se han señalado muchas de las dificultades que esta separación entre el modelo aceptado por la mayoría de la comunidad química y la Teoría Cuántica trae consigo en la enseñanza de la Química a nivel universitario (Hawkes, 1998). Por otro lado, la Teoría Cuántica supone una dificultad conceptual que la sitúa muy por encima del nivel de la enseñanza secundaria. Esto conduce la enseñanza del enlace químico al método “tradicional”, basado en ideas como la de valencia, y en modelos cualitativos sencillos como el de Lewis. Sería interesante estudiar cómo este enfoque ha influido en la generación y difusión de las ideas sobre el enlace químico generalmente aceptadas por la mayoría de la comunidad científica. A los propósitos de este artículo, baste con subrayar que los modelos de enlace químico accesibles a los alumnos de secundaria son necesariamente muy aproximados, y pueden conducir a una concepción limitada sobre la estructura de la materia que puede dificultar un aprendizaje especializado posterior.

3. METODOLOGÍA

De acuerdo con lo que hemos visto en las secciones anteriores, nuestra propuesta didáctica se basa en una enseñanza en paralelo de aspectos microscópicos y macroscópicos del enlace químico. En concreto, proponemos que el modelo microscópico se contraste en el aula mediante la realización de actividades de investigación. Partimos de la base de que durante el curso se han ido introduciendo, dentro de una metodología similar, otros aspectos microscópicos de la materia (estructura del átomo, naturaleza de la corriente eléctrica, etc.). La dinámica de trabajo que proponemos sería:

1. Se realiza una revisión sobre las ideas del enlace químico de los alumnos, centrándose en la visión microscópica del concepto. Se puede trabajar con modelos sencillos (tipo “bolas y palillos”) para introducir aspectos de estructura molecular, etc. Se debe incidir en las propiedades físicas que se derivan de un cierto tipo de enlace (polaridad, fortaleza del enlace, etc.) Con la supervisión del profesor, los alumnos realizan prácticas sobre distintas sustancias, midiendo ciertas propiedades macroscópicas de las mismas. La idea es, obviamente, experimentar sobre propiedades que puedan relacionarse correctamente con el enlace químico presente en la sustancia.
2. En función de sus conocimientos sobre el concepto de enlace, los alumnos emiten hipótesis sobre la relación entre estas propiedades macroscópicas y la estructura molecular o el tipo de enlace de la sustancia.
3. Estas hipótesis son puestas en común y discutidas con sus compañeros.

4. Las hipótesis obtenidas son contrastadas mediante experimentación.
5. Se propone la experimentación con otras sustancias, para que las ideas adquiridas sean aplicadas a otros sistemas.

Como se ve, adoptamos implícitamente una enseñanza en paralelo de los aspectos microscópicos y macroscópicos de la estructura de la materia.

4. ACTIVIDADES DE EXPERIMENTACIÓN PROPUESTAS

Nos centraremos en este trabajo en el estudio de dos tipos de propiedades macroscópicas que encuentran su explicación en las propiedades de enlace de las sustancias, el comportamiento frente a la corriente eléctrica, y el comportamiento frente a diferentes disolventes.

4.1 Comportamiento de las sustancias frente a la corriente eléctrica

Partimos de la base de que los alumnos conocen los fundamentos físicos de la corriente eléctrica como transporte de portadores de carga. A su vez, asumimos que la distinción entre conductor y aislante eléctrico está bien adquirida. De cualquier modo, si el profesor tuviera dudas sobre este respecto, un posible punto de partida podría ser realizar un test exploratorio para comprobar las ideas de los alumnos sobre este tema.

La enseñanza a escala microscópica debe centrarse en la mayor o menor movilidad de los electrones (o iones) en una sustancia en función del tipo de enlace. Se debe incidir en el carácter localizado de los electrones en los compuestos covalentes y en los sólidos iónicos; y en la disponibilidad de cargas móviles en los sólidos metálicos o en las disoluciones iónicas. Como se ve, confluyen prácticamente todos los tópicos relevantes referidos al enlace químico (polaridad del enlace, estructura de los sólidos, etc.).

La forma de trabajar la parte experimental que nos resulta más adecuada es en grupos de cuatro en el aula. Se utiliza como mesa de trabajo dos pupitres y trabajan los dos que ocupan esos pupitres y los dos que están situados delante que se dan la vuelta. Sobre los pupitres se coloca como mantel un periódico usado. El material se coloca en la mesa del profesor y un alumno de cada grupo se acerca a recogerlo. Cuando se termina pasa un alumno con un recipiente de plástico o una caja de zapatos recogiendo las pilas, los cables y el LED. Todo lo demás se envuelve en el periódico y se echa en una bolsa de basura que se va pasando por los distintos grupos.

Material por grupo

- 1 LED verde
- 1 pila de 4.5 V
- dos trozos de cable de cobre de aproximadamente 15 cm de largo, con los dos extremos pelados para conexión.
- 1 lapicero con punta en los dos extremos
- 1 clavo de hierro
- dos medias hueveras de papel plastificado, encajadas una en otra, en la superior se echa en cada uno de los huecos: sal fina, azúcar, vinagre, sulfato de cobre pulverizado, alcohol
- 1 botellín con agua
- 1 trozo de papel de cocina

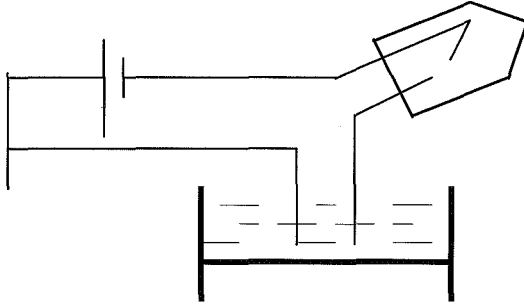
Después de indicar a los alumnos que se trata de comprobar cómo se comportan diferentes sustancias frente a la corriente eléctrica se discute cómo se debe de montar el circuito y cuáles son las partes fundamentales: generador (pila), detector del paso de corriente (LED), la sustancia (que si es líquida deberá estar en una cuba) y los cables de conexión. Si desconocen el LED antes de seguir se observa, describe e indica cómo funciona, con preguntas dirigidas a los alumnos, hasta que lleguen a decir que en una especie de cápsula de plástico de color verde, con dos patas metálicas, que en el interior están separadas. Se escribe en el encerado el nombre LIGHT EMISSION DIODE =DÍODO EMISOR DE LUZ. Nos fijaremos en la palabra DÍODO, intentado que los alumnos con una pequeña ayuda sean capaces de llegar a saber que significa "dos caminos", pasando, con el LED en la mano, a investigar porqué se dirá que tiene dos caminos. Se indicará porqué sirve para detectar el paso de la corriente y se les pedirá que indiquen en qué aparatos de la vida corriente han visto LED (calculadoras, televisores, radios, etc.), de qué colores los han visto (rojo, verde, amarillo). Se les advierte que el más sensible al paso de la corriente es el rojo, que vamos a utilizar el verde, que puede soportar más tensión, pero cuando lo utilicemos en el experimento lo deben de conectar muy poco tiempo porque se debería introducir una resistencia en el circuito para más seguridad, sobre todo cuando las sustancias que coloquemos sean muy buenas conductoras y vamos a prescindir de la resistencia por sencillez del circuito.

Se les pide que apoyen las patas del LED sobre las laminitas metálicas de conexión de la pila para comprobar si luce o no al paso de la corriente. Lo más probable es que a unos sí les luzca y a otros no, por lo que se advierte que un LED deja pasar la corriente en un solo sentido, que, en general, es cuando la pata más larga está unida al polo negativo, es decir, es la que emite electrones. A continuación y, antes de comenzar a trabajar experimentalmente, se comenta

cómo se deben expresar los resultados. Los científicos se expresan de forma que se puedan ver con rapidez los resultados y para ello, en este caso, lo mejor será hacer una tabla. Con la intervención de los alumnos se llega a qué debe de aparecer en esa tabla.

SUSTANCIA	CONDUCE	SE DESCOMPONE	CLASE DE CONDUCTOR	TIPO DE ENLACE

Después de montar el circuito según se indica en la figura:



Se les dice que deben comenzar por comprobar lo que pasa con el agua pura, para lo cual en uno de los huecos de la huevera que no tienen nada deben echar agua, y posteriormente ese agua la utilizarán para lavar los extremos de los cables antes de pasar de una sustancia a otra. Cada vez que cambien los extremos de los cables los deben lavar y secar, para más seguridad de limpieza con el trozo de papel de cocina que tienen. En cuanto a los sólidos que tiene en los distintos huecos de la huevera si no conducen deberán de añadirles agua para comprobar si conducen las disoluciones, y en estos casos se deberán fijar muy bien si aparecen burbujas junto a los cables o los cables cambian de color, en cuyo caso significa que hay una descomposición. Para cerciorarse que el circuito está bien y no se ha desconectado nada pueden juntar los extremos de los cables. Sin embargo en el caso del alcohol tienen que tener cuidado de no juntarlos dentro del alcohol porque se le pueden producir chispas y se puede inflamar. Deben comprobar si conduce el grafito apoyando los cables en la mina del lapicero. Pueden comprobar si conduce la plata o el oro con sus sortijas, etc.

Después de hacer el trabajo experimental y retirar el material como hemos indicado se discuten los resultados, insistiendo más o menos según el nivel de los alumnos en su relación con el enlace químico. Si son alumnos de nivel superior se puede buscar la relación entre la estructura del grafito y la de los metales. El comportamiento es el mismo porque en los dos casos existen electro-

nes que se pueden mover libremente, se puede poner una transparencia sobre la estructura del grafito y la de los metales, o bien que los alumnos busquen en el libro cómo es el grafito. Se puede utilizar otras sustancias como aceite, gasolina, acetona (las dos últimas no en la huevera porque la disuelven), etc.

Las preguntas se referirán fundamentalmente a los resultados recogidos en la tabla con relación a la estructura o enlace químico de las sustancias.

4.2. Comportamiento de las sustancias frente a los disolventes

Un segundo tipo de actividades que proponemos se centra en el estudio de la solubilidad de diferentes sustancias en distintos disolventes. Una posible vía de enseñanza de los aspectos microscópicos podría partir del conocido principio “semejante disuelve a semejante” y de la teoría cinética. Se trataría de introducir la base física del proceso de disolución a nivel microscópico, utilizando planteamientos electrostáticos sencillos (la semejanza se entendería en términos de estructura molecular y de las propiedades de los enlaces químicos de soluto y disolvente), y de dar una visión de la disolución utilizando planteamientos cualitativos de la teoría cinética.

Forma de trabajar

Puede ser en el aula haciéndolo el profesor para todo el grupo o en el laboratorio en grupos.

Material

Si se hace en el aula

- cápsulas de petri
- retroproyector
- aceite de cocina, aceite mineral, etanol, iodo, acetona, gasolina, azúcar, sal
- matraces erlenmeyer de unos 500 ml
- vasos de poliestireno, yogur, etc.
- trozos de poliestireno de los utilizados para embalar.
- yoduro de potasio

Si lo hacen los alumnos:

gradilla con tubos de ensayo en lugar de los matraces, las cápsulas de petri y el retroproyector

Experimento en el aula

Sobre retroproyector colocando un plástico transparente para que no se manche, con cuidado de que no sobresalga y tape los orificios de ventilación, se pueden hacer en cápsula de petri los siguientes:

- Cápsula de petri con escamas de yodo y agua.
- Cápsula de petri con yodo y etanol
- Cápsula de petri con yodo y acetona

Discutir los cambios de comportamiento teniendo en cuenta la estructura molecular del yodo.

- Cápsula de petri con agua y se añade alcohol. Se nota como una especie de marejada, que se puede atribuir a la unión de alcohol con agua por enlaces de hidrógeno. Esta misma unión explica porqué el volumen total de una disolución de alcohol y agua es menor que la suma de los volúmenes de agua y de alcohol que se han utilizado para hacerla. Resulta espectacular si se mezclan 100 ml de agua contenidos en un matraz aforado de esta capacidad con 100 ml de alcohol en un matraz aforado de 200 ml. La suma de $100 + 100$ no es 200.
- En una cápsula de petri con agua se introduce vertical un terrón de azúcar y es curioso ver en la pantalla como se va disolviendo. De nuevo la explicación serán enlaces de hidrógeno.
- Dos cápsulas de petri con agua, sobre una se añaden gotas de aceite de cocina y sobre la otra de aceite mineral (puede ser la utilizada en los coches). La primera se extiende formando una capa cuando está en suficiente cantidad, porque lleva los oxígenos del grupo éster, la segunda forma siempre gotas porque no se une al agua.
- Colocando un recipiente debajo, echar en un vaso de poliestireno (o en una bandeja de las que se suelen utilizar en las fruterías para vender determinados productos) acetona y en otro agua. En el primero se hace un orificio porque la acetona lo disuelve. Se pueden sustituir por vasos de yogur pero tarda mas y es menos espectacular.
- En un erlenmeyer con, aproximadamente, 200 ml de gasolina ir añadiendo trozos del plástico de embalar y se comprueba, al agitar, moviendo el matraz que se disuelven varios puñados de esos trocitos con gran sorpresa de los alumnos.

Si la hacen los alumnos en el aula sería similar pero usando tubos de ensayo. Deberían expresar los resultados en forma de tabla del comportamiento de

la sal, el yodo y el plástico de embalar con distintos disolventes y se le harían preguntas relacionadas con el tipo de enlace o con hechos de la vida diaria tal como qué utilizan para quitar las manchas de grasa, la pintura de las uñas, la manchas de pintura, etc.

- Otro experimento sería comprobar que no se disuelve el yodo en agua, pero sí se disuelve si se le añade yoduro de potasio porque se forma un complejo que ya tiene un enlace iónico: KI_3 cuya fórmula de Lewis deberán escribir.

REFERENCIAS

- ANDERSON, B. (1990). Pupils' conceptions of matter and its transformations (age 12-16). *Studies in Science Education*, 18, 53-85.
- BEN-ZVI, R., EYLON, B.-S. Y SILBERSTEIN, J. (1986). Is an atom of copper malleable?. *Journal of Chemical Education*, 63(1), 64-66.
- DE VOS, W. Y VERDONK, A.H., (1987). A new road to reactions: Part 4. The substance and its molecules. *Journal of Chemical Education*. 64(8), 692-694.
- HAWKES, S.J. (1998). Chemical Bonding in Introductory Chemistry, *CHED Newsletters*, Spring 1998, pp. 26-28.
- HESSE, J.J Y ANDERSON, C.A. (1992). Students' conceptions of chemical change. *Journal of Research in Science Teaching*, 29(3), 277-299.
- HILL, D. (1988). Misleading illustrations. *Research in Science Education*, 18, 290-297.
- KRNEL, D. , WATSON, R., GLAZAR, S.A. (1998). Survey of research related to the development of the concept of 'matter'. *International Journal of Science Education*, 20, pp. 257-289.
- LEE, O., EICHINGER, D.C., ANDERSON, C.W., BERKHEIMER, G.D. Y BLACKESLEE, T.D. (1993). Changing middle school students' conceptions of matter and molecules. *Journal of Research in Science Teaching*, 30(3), pp. 249-270.
- MILLAR, R. (1990). Making sense: What use are particle ideas to children?. En *Relating macroscopic ideas phenomena to microscopic particles: A central problem in secondary science education*. Proceedings of the Centre for Science and Mathematics Education, University of Utrecht, pp. 283-293.
- PORLAN, R., GARCÍA, J.E. Y CAÑAL, P. (compiladores) (1995). *Constructivismo y enseñanza de las ciencias*. Sevilla: Díada.
- PINES, A.L. , WEST, L.H.T. (1986). Conceptual understanding and science learning: An interpretation of research within a sources-of-knowledge framework, *Science Education*, 70(5), pp. 583-604.

SCOTT, P. (1987). The process of conceptual change in science: A case study of the development of a secondary pupil's ideas relating to matter. *Proceedings of the Second International Seminar on Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics*, Vol. II, Ithaca, N.Y., Cornell University, pp. 404-419.