

Ideas y dificultades en el aprendizaje de la química

Miguel Ángel Gómez Crespo

Este artículo presenta un resumen de los aspectos más importantes sobre las ideas y dificultades de los estudiantes en el aprendizaje de la química. A partir de las características de la disciplina y de la forma en que se enfrentan a ella los alumnos, se describen algunas de las ideas y dificultades que surgen en tres núcleos de contenidos: la naturaleza corpuscular de la materia, la conservación de propiedades no observables y la aplicación cuantitativa de las leyes químicas.

Palabras clave: Ciencias experimentales, Aprendizaje, Enseñanza de las ciencias, Química, Alumnado, Materia, Ley química

(1) En los últimos años se ha propuesto un modelo de aprendizaje que considera que los alumnos construyen sus conocimientos a partir de aquello que ya saben, de forma que cada sujeto tiene una serie de ideas y conocimientos que activa en una situación de aprendizaje y que trata de conectar con los nuevos conceptos. Este modelo asigna una gran importancia a las ideas que los estudiantes tienen antes de comenzar el aprendizaje, los llamados conocimientos previos (véase el artículo de J.I. Pozo en este mismo número). Por ello, una parte importante de la investigación en didáctica de las ciencias en los últimos años ha estado dedicada a estudiar estas ideas en las diversas materias que forman el currículo. Una de estas materias es la química y, aunque se ha trabajado menos que otras, hoy disponemos de una buena aproximación a las ideas que los alumnos y alumnas mantienen y a las dificultades que encuentran en el estudio de esta parte de la ciencia (por ejemplo: Driver y otros, 1989; Hierrezuelo y Montero, 1991; Pozo y otros, 1991).

Antes de entrar a revisar qué ideas tienen los estudiantes debemos reflexionar, aunque sea brevemente, sobre el origen de éstas.

Las ideas en química y las dificultades de aprendizaje vienen determinadas fundamentalmente por la interacción de dos factores: la forma en que los alumnos aprenden y se enfrentan a nuevos conceptos -por tanto, habrá algunas similitudes con las ideas que aparecen en otras materias- y las características propias de esta disciplina (Cuadro 1). Así, la química nos describe la estructura íntima de la materia y sus propiedades, aquello que no podemos ver ni imaginar y, por tanto, bastante alejado de lo que podemos percibir a través de los sentidos.

Frente a la imagen estática y continua que observamos, la química nos describe la materia como formada por unas partículas imperceptibles en continuo movimiento y entre las que no existe nada. Frente a los cambios aparentes que percibimos tras una transformación de la materia, la química nos habla de la conservación de propiedades no observables. Aparecen sistemas que aparentemente no evolucionan en el tiempo, en los que, sin embargo, se explica que tienen lugar cambios que compiten en sentidos opuestos, lo que se opone a la causalidad simple en un sólo sentido con que solemos interpretar nuestra vida cotidiana.

Y, aún más, para poder explicar todo ello, la química necesita la ayuda de un lenguaje altamente simbólico y de modelos analógicos, que resultan muy útiles para su comprensión, pero que pueden resultar sumamente peligrosos para los estudiantes (en ocasiones inducen ideas erróneas bastante difíciles de erradicar). Todo ello está en el origen de muchas de las ideas y dificultades que los alumnos presentan en el aprendizaje de la química. Ideas que en bastantes ocasiones son *espontáneas*, con origen en la interacción del alumno con el mundo que le rodea. Sin embargo, dado el alto nivel de abstracción de muchos de los conceptos que se estudian tanto en la ESO como en el bachillerato, la mayoría de las veces las ideas alternativas serán *inducidas*, adquiridas a través de los medios de comunicación o de la enseñanza, y *analógicas*, fundamentalmente generadas a través de la enseñanza (puede encontrarse más información sobre el origen y las características de estas ideas en Pozo y otros, 1991).

El estudio de las distintas ideas que aparecen en química se simplifica mucho si tenemos en cuenta que muchas de ellas están relacionadas entre sí formando, en ocasiones, verdaderas teorías "informales" sobre el comportamiento de la materia. Así, la mayor parte de las que aparecen en la enseñanza secundaria, aunque no todas, pueden agruparse en tres grandes núcleos conceptuales (Pozo y otros, 1991; Gómez Crespo y otros, 1992): naturaleza corpuscular de la materia, conservación de propiedades no observables y relaciones cuantitativas.

Cuadro 1. *Algunos factores que influyen en las ideas y dificultades del alumnado en química*

CARACTERÍSTICAS DE LA DISCIPLINA

- Describe la naturaleza íntima de la materia, aquello que no podemos ver ni, en muchos casos, imaginar.

- Es necesario comprender la conservación de propiedades no observables de la materia.
- Aparecen sistemas en los que compiten cambios que tienen lugar en sentidos opuestos.
- Necesita ayudarse de modelos analógicos y de un lenguaje altamente simbólico.

CARACTERÍSTICAS DEL ALUMNADO

- Predominio de lo observable sobre lo no observable. Dificultades en la representación de lo no observable.
- En los cambios tienden a centrarse en lo que ha cambiado y no en lo que permanece.
- Creencia en la semejanza entre causas y efectos.
- Utilizan una causalidad lineal, simple y en un solo sentido.

NATURALEZA CORPUSCULAR DE LA MATERIA

La comprensión de la naturaleza corpuscular de la materia es básica para poder comprender e interpretar su estructura y propiedades y para cualquier explicación causal de los cambios que experimenta. Sin embargo, diversos trabajos (por ejemplo: Stavy, 1988; Llorens, 1991; Pozo y otros, 1991 y 1993) muestran cómo los estudiantes utilizan este modelo en muy poca proporción en sus explicaciones en secundaria e incluso en la universidad, y cómo, cuando lo hacen, lo utilizan en una proporción muy elevada de forma errónea. En general, la mayoría de los alumnos y alumnas recurren a respuestas en las que describen el fenómeno a partir de las propiedades macroscópicas de la materia, más cercanas a las dimensiones "físicas" del mundo *real*, frente a las microscópicas del modelo corpuscular.

Si la tarea no lo induce de modo explícito, los sujetos recurren en escasa medida a sus conocimientos de química para explicar, por ejemplo, por qué se seca una camisa o se deshace un terrón de azúcar en el café. La explicación o descripción macroscópica les resulta suficiente para explicar esos hechos. Sin embargo, los alumnos no son reacios a aceptar el modelo corpuscular de la materia (Iglesias y otros, 1990; Chastrette y Franco, 1991) y aumentan de forma apreciable las respuestas en términos microscópicos cuando se les da a elegir entre respuestas microscópicas y macroscópicas (Pozo y otros, 1993). Todo ello lleva a pensar que, en muchos casos, la ausencia de respuestas microscópicas espontáneas no es debida a la incomprensión de los modelos corpusculares, sino más bien a la coexistencia de las interpretaciones microscópicas -en términos de las partículas constituyentes de la materia- y macroscópicas -en términos de parámetros físicos observables- en un mismo sujeto, a las que recurre en función de la demanda de la tarea (Pozo y otros, 1993).

Ahora bien, para poder interpretar las propiedades de la materia no basta con aceptar el modelo corpuscular, es necesario además utilizarlo correctamente. Sin embargo, cuando los estudiantes lo utilizan tienden a atribuir propiedades erróneas a las partículas, utilizando en muchas ocasiones unas "ideas mixtas" entre sus propias concepciones y las científicas. Aparece una tendencia a interpretar el mundo microscópico en términos macroscópicos, atribuyendo a las partículas constituyentes de la materia propiedades similares a las de sus características observables (cuando se extrae el aire de un frasco, las partículas que quedan se concentran en el fondo; si un gas aumenta de volumen o cambia de color, también lo hacen sus partículas; los átomos de cobre tienen color rojo; etc.).

En general, los alumnos interpretan la materia de forma continua y estática frente a la visión dinámica de los modelos científicos. Para ellos, las partículas representarían pequeños "trozos" de materia separados por más materia, lo que les lleva a rechazar, o al menos a ignorar, la idea de vacío (Cuadro 2).

LA CONSERVACIÓN DE LA MATERIA

Gran parte del conocimiento científico está relacionado con las conservaciones, pero en química, como ya hemos señalado anteriormente, la conservación va más allá de las apariencias y de lo observable. Para estudiar los cambios de la materia y para distinguir entre cambio físico y cambio químico es necesario tener en cuenta dos propiedades diferentes, aunque relacionadas, de la materia: la cantidad (masa) y la cualidad (la sustancia). En los cambios físicos (disoluciones y cambios de estado) se conservan las dos propiedades, masa y sustancia, mientras que en los cambios químicos (reacciones) cambia la identidad de la sustancia y la masa puede conservarse o no, en función de que la reacción tenga lugar en un sistema abierto o cerrado. Son dos propiedades que, desde el punto de vista de la química, están directamente relacionadas y dependen de los cambios en la estructura microscópica de la materia. Sin embargo, para muchos alumnos de enseñanza secundaria se trata de dos problemas diferentes que tienen poco que ver entre sí (Pozo y otros, 1993).

Cuadro 2. Algunas ideas del alumnado sobre la naturaleza corpuscular de la materia

- El modelo corpuscular se utiliza muy poco de forma espontánea.

- Cuando se utiliza, se atribuyen a las partículas propiedades pertenecientes al mundo macroscópico. Poseen las mismas propiedades que el sistema.
- Las partículas no están en continuo movimiento.
- No hay interacción entre las partículas.
- No existe el vacío. Entre las partículas siempre hay algo (aire, agua, gas, etc.).

Para el alumno, la conservación de la materia viene fundamentalmente afectada por la percepción que tiene del problema (Cuadro 3). Así, interpreta que, por ejemplo: tras disolver azúcar en agua puede haber pérdida de masa; el paso de líquido a gas implica que la sustancia se haga más ligera o, incluso, que desaparezca; en la combustión de un cigarrillo, la desaparición de un sólido para formar un gas implica que hay pérdida de masa; en la oxidación de una esponja de hierro, el óxido sigue siendo hierro que sólo cambia de aspecto; etc. (pueden encontrarse más ejemplos en Driver y otros, 1989; Llorens, 1991).

En todos los casos los alumnos basan sus respuestas en los aspectos observables de los estados inicial y final de la materia, centrándose en explicar aquello que ha cambiado y no lo que permanece (Pozo y otros, 1991). Así, para muchos, una propiedad de la materia es que los líquidos son más ligeros que los sólidos y los gases más ligeros que los líquidos. Esta dependencia de los aspectos perceptivos hace que, por ejemplo, sea más fácil conservar la masa cuando después del cambio se percibe algún indicio de la sustancia original (por ejemplo: una disolución coloreada, caso del café, o un cambio de estado que da lugar a un gas coloreado, la sublimación del yodo).

Comprender la conservación de la sustancia es necesaria para poder distinguir entre cambios físicos y cambios químicos. Pero esta comprensión cualitativa de las transformaciones de la materia, la permanencia o no de la sustancia inicial tras el cambio, presenta también bastantes dificultades para nuestros alumnos y alumnas (Pozo y otros, 1993 y Gómez Crespo y otros, 1995). Aunque son capaces de distinguir bastante bien que tras un cambio de estado la sustancia mantiene su identidad a pesar de que cambie de aspecto, no ocurre lo mismo con las disoluciones.

Cuadro 3. *Algunas ideas del alumnado sobre la conservación de la materia*

- Entienden la conservación de la masa y de la sustancia como problemas independientes.
- La conservación o no de la materia depende de las características observables del sistema.
- Explican lo que cambia en el sistema, no lo que permanece.
- No diferencian entre cambio físico y cambio químico.
- Aparecen interpretaciones de los cambios en términos de transmutación y conservación de la sustancia con pérdida de masa.

Se ha podido comprobar que, en muchas ocasiones, en la enseñanza secundaria no distinguen entre el tipo de cambio que tiene lugar en una disolución y en una reacción química, apareciendo para estos dos tipos de procesos indistintamente interpretaciones en términos de *interacción entre sustancias para obtener otra diferente o de conservación de la sustancia aunque cambie su aspecto*. Por ejemplo, interpretan que cuando se disuelve cloruro de sodio en agua interactúan ambas sustancias y dan lugar a la formación de un nuevo compuesto; en el otro extremo, pueden interpretar la combustión del alcohol como un cambio en el que este compuesto tan sólo se ha evaporado. Todo indica que los alumnos no establecen distinciones entre el tipo de cambio que tiene lugar. Además, se comprueba que las respuestas en términos de interacción aumentan cuando los problemas se plantean con lenguaje químico (disolución de cloruro de sodio en H₂O), frente a problemas idénticos en lenguaje cotidiano (disolución de azúcar en agua). Cuando el problema "suena" a química (lenguaje, participación de dos sustancias, etc.) los estudiantes tienden a interpretar los cambios preferentemente en términos de interacción entre sustancias para formar otras nuevas. Para muchos la química sería el arte de mezclar sustancias para obtener otras diferentes.

Existen otros dos tipos de ideas utilizadas en la interpretación cualitativa de los cambios de la materia (tanto físicos como químicos) que, aunque minoritarias, siguen manteniendo una cierta importancia en las edades correspondientes a la ESO. La más importante es la interpretación del cambio en términos de transmutación. La otra, consiste en interpretar que tras el cambio la sustancia sigue siendo la misma pero se ha perdido una cierta cantidad de ella.

RELACIONES CUANTITATIVAS

La aplicación cuantitativa de las leyes de la química constituye una parte importante de los contenidos de química en la enseñanza secundaria. Estas leyes no representan grandes dificultades matemáticas en su aplicación y salvo algunas excepciones (por ejemplo, el cálculo del pH), la gran mayoría de los cálculos que los alumnos deben aprender a realizar se resumen en la aplicación del cálculo proporcional. Esto, a simple vista, podría parecer muy sencillo, sin embargo los

profesores de química conocemos las grandes dificultades que entraña el aprendizaje de las relaciones cuantitativas y la resolución de problemas en química.

Numerosas investigaciones han puesto de manifiesto la relación que existe entre los cálculos proporcionales y el rendimiento en química, así como las dificultades que encuentran nuestros alumnos y alumnas en su aplicación (puede encontrarse más información en Pozo y otros, 1991 y 1993). Estas dificultades podemos clasificarlas en tres tipos: dificultades con el cálculo proporcional, dificultades en la estrategia de solución de problemas y dificultades conceptuales (Cuadro 4).

Cuadro 4. Algunas dificultades en la aplicación cuantitativa de las leyes químicas

- Dificultades asociadas al cálculo proporcional.
- Número de proporciones diferentes y sucesivas necesarias para resolver el problema.
- Dificultades asociadas a los conceptos y leyes químicas que se manejan.
- En primer lugar nos referiremos a las dificultades que entraña el cálculo proporcional para los adolescentes. Desde un punto de vista matemático, dicho cálculo implica la utilización de una estrategia *multiplicativa* que supone reconocer la igualdad entre dos razones y que un cambio en un miembro de una proporción se puede compensar con un cambio en otro miembro, sin que varíe la igualdad. Sin embargo, una tendencia general entre los sujetos que resuelven este tipo de tareas es utilizar reglas cualitativas o reglas cuantitativas parcialmente correctas, con distinto grado de elaboración, que les permiten, aunque sea de forma incorrecta, obtener soluciones correctas para problemas sencillos. La más simple sería la regla *cualitativa* consistente en ignorar parte de los datos del problema, comparando entre magnitudes absolutas (por ejemplo, en disoluciones con distinto volumen comparar entre sí sólo las cantidades de soluto). La regla *aditiva*, un poco más compleja, consiste en restar numerador y denominador en ambas razones y comparar los resultados (por ejemplo, para comparar concentraciones). La regla de *correspondencia* consiste en establecer una relación de proporción en una razón y aplicársela a la otra. Por ejemplo, si se comparan dos disoluciones A (3 mol soluto en 5 l de agua) y B (2 mol en 4 l), implicaría comparar la relación 1:2 de la segunda con la relación 3:5 de la primera. El alumno diría que la primera es la más concentrada porque para ser iguales debería tener 3/6 y de este modo hay 1 l menos de agua. Esta estrategia es utilizada por muchos sujetos a la hora de resolver problemas de química y puede conducir, según los casos, a resultados correctos o incorrectos.

El problema de utilización de una u otra regla no es de competencia sino de actuación. Así, un mismo sujeto puede utilizar una u otra en función de las características del problema (cuanto más difícil es el problema más simple es la estrategia utilizada). Al mismo tiempo, en química, en ocasiones se induce el uso de una determinada regla. Así, las leyes ponderales se expresan en términos de correspondencia (por ejemplo, en la ley de las proporciones definidas: ...para formar agua 2 moles de moléculas de hidrógeno se combinan con 1 mol de moléculas de oxígeno...). De tal forma que a la hora de aplicarlas se tiende a utilizar la regla de correspondencia -menos elaborada y más simple desde el punto de vista cognitivo, pero que en muchas ocasiones lleva a resultados correctos- en vez de la regla multiplicativa.

La mayor o menor dificultad de los cálculos proporcionales viene también afectada por otro tipo de variables como la edad del sujeto o la estructura de la propia tarea (magnitud de los números a utilizar, que sean números enteros o decimales, si la proporcionalidad es directa o inversa, etc.).

- Pero la dificultad de los cálculos en química no está sólo en el cálculo proporcional que, en ocasiones, se ve simplificado por un uso algorítmico mediante el empleo de fórmulas *ad hoc* para cada "modelo de problema". La mayor dificultad viene determinada por el número de proporciones diferentes y sucesivas que es necesario realizar para resolver el problema (Gailiunas, 1987) y por la necesidad de encontrar una estrategia de resolución adecuada a cada caso (véase Pozo y Gómez Crespo, 1994). Así, la dificultad del problema aumenta con el número de datos que es necesario manejar, con el número de pasos necesario para su solución y con la ramificación del proceso (número de variables que hay que manejar a la vez e incógnitas que es necesario calcular para resolver sucesivos pasos del problema).

- Por último, una parte importante de las dificultades en la aplicación cuantitativa de las leyes químicas está relacionada con las dificultades propias de los conceptos químicos que intervienen. En este caso, el concepto llave de la mayoría de los cálculos químicos es precisamente el principal escollo: *el mol*, unidad de cantidad de sustancia en el sistema internacional de unidades. El mol resulta un concepto muy complejo para los estudiantes de secundaria, no comprenden su significado (mal definido en muchos libros de texto) y se limitan a una utilización de forma mecánica.

Cuando se aplica al cálculo de números de partículas hay que añadir una nueva dificultad: la aparición del número de Avogadro (tan grande que está más allá de la imaginación de los estudiantes). Por otro lado, cuando se trabaja con disoluciones aparecen dificultades debidas a que la concentración depende de dos variables, cantidad de soluto y cantidad de disolvente (por ejemplo, algunos alumnos establecen una proporción directa entre la concentración y el volumen de disolución).

En las reacciones se añaden la confusión entre el significado de subíndices y coeficientes en las fórmulas, la utilización de falsas leyes de conservación (volumen, moles, etc.) o la no diferenciación entre relaciones en moles y relaciones en masas.

Todo ello contribuye a hacer que la aplicación cuantitativa de las leyes de la química sea una de las partes de esta disciplina que más dificultades de comprensión presenta para los alumnos de enseñanza secundaria.

PARA FINALIZAR

Hasta aquí un, necesariamente breve, resumen de algunas de las ideas y dificultades más características que aparecen en el aprendizaje de estos tres núcleos de contenidos en la enseñanza secundaria. Sin embargo, aunque en ellos se engloban una parte muy importante de los contenidos del currículo de química, quedan sin tratar, por razones de espacio, las ideas relacionadas con algunos conceptos importantes que se desarrollan en los últimos cursos. Por ejemplo, puede hacerse referencia al equilibrio químico, un concepto sobre el que existe amplia información de los problemas de aprendizaje e ideas de los estudiantes (puede encontrarse más información en: Pozo y otros, 1991; Quílez y Sanjosé, 1995), o a la introducción del modelo cuántico del átomo frente a los modelos clásicos (entre otros Solbes y otros, 1988).

En definitiva, conocemos gran parte de las ideas que los alumnos mantienen cuando se enfrentan al estudio de la química y cuál puede ser su origen, lo que nos permite conocer y comprender las dificultades de aprendizaje que presenta esta materia. Esto representa una buena base de partida para seguir investigándolas, para estudiar su incidencia en el aprendizaje y, sobre todo, para desarrollar estrategias didácticas que ayuden a los estudiantes a tender puentes entre sus ideas y teorías y las que presenta la ciencia formal.

Bibliografía

CHASTRETTE, M.; FRANCO, M. (1991): La reacción química: descripciones e interpretaciones de los alumnos de Liceo. Enseñanza de las Ciencias 9(3), 243-247.

DRIVER, R.; GUESNE, E.; TIBERGHIE, A. (1989): Ideas científicas en la infancia y la adolescencia. Madrid: Morata/MEC.

GAILLIUNAS, P. (1987): Proportionality in Science Education. The School Science Review 68(245), 744-748.

GÓMEZ CRESPO, M.A.; POZO, J.I.; SANZ, A.; LIMÓN, M. (1992): La estructura de los conocimientos previos en Química: una propuesta de núcleos conceptuales. Investigación en la Escuela 18, 23-40.

GÓMEZ CRESPO, M.A.; POZO, J.I.; SANZ, A. (1995): Students' Ideas on Conservation of Matter: Effects of Expertise and Context Variables. Science Education 79(1), 77-93.

HIERREZUELO, J.; MONTERO, A. (1991): La ciencia de los alumnos. Málaga: Editorial Elzevir.

IGLESIAS, A.; OLIVA, J.M.; ROSADO, L. (1990): Las interacciones entre estudiantes en el trabajo en grupos y la construcción del modelo corpuscular de la materia y el principio de conservación de la masa. Investigación en la Escuela 12, 57-67.

LLORENS, J.A. (1991): Comenzando a aprender química. Madrid: Visor

POZO, J.I.; GÓMEZ CRESPO, M.A.; LIMÓN, M.; SANZ, A. (1991): Procesos cognitivos en la comprensión de la ciencia: Las ideas de los adolescentes sobre la química. Servicio Publicaciones MEC.

POZO, J.I.; GÓMEZ CRESPO, M.A.; SANZ, A. (1993): La comprensión de la química en la adolescencia. Memoria de investigación. CIDE/Universidad Autónoma de Madrid.

POZO, J.I.; GÓMEZ CRESPO, M.A. (1994): La solución de problemas en ciencias de la naturaleza. En: Pozo, J.I. (Ed.) La solución de problemas. Madrid: Santillana.

QUÍLEZ, J.; SANJOSÉ, V. (1995): Errores conceptuales en el estudio del equilibrio químico: nuevas aportaciones relacionadas con la incorrecta aceptación del Principio de Le Chatelier. Enseñanza de las Ciencias 13(1), 72-80.

SOLBES, J.; BERNABEU, J.; NAVARRO, J.; VENTO, V. (1988): Dificultades de la enseñanza/aprendizaje de la Física Cuántica. Revista Española de Física 2(1), 22-27.

STAVY, R. (1988): Children's conception of gas. International Journal of Science Education 10(5), 533-560.

Dirección de contacto

Miguel Ángel Gómez Crespo

IB Victoria Kent. La Plata S/N. Torrejón de Ardoz. 28850 Madrid. Tel.: 91/6560079. Fax: 91/6773835.

-
1. Parte de este trabajo se basa en los resultados obtenidos en una investigación sobre "La comprensión de la química en la adolescencia", realizada en la Facultad de Psicología de la Universidad Autónoma de Madrid, financiada por el CIDE y dirigida por J.I. Pozo, en la que además del autor participó también Ángeles Sanz.