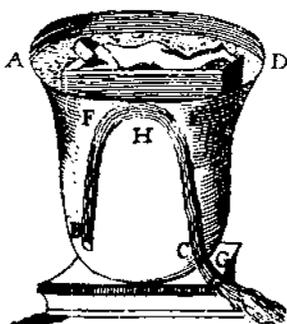


INTERCAMBIOS, COMENTARIOS



Y CRITICAS

En esta sección intentamos recoger, por una parte, los comentarios y críticas sobre los trabajos aparecidos, así como sugerencias de cualquier tipo que puedan contribuir a una mejora de la revista.

En segundo lugar pretendemos que estas páginas sirvan para dar a conocer la existencia de grupos de trabajo y facilitar así los contactos e intercambios.

También pensamos que puede ser de interés el conocimiento de las líneas de trabajo seguidas por los distintos grupos, que pueden enviar breves resúmenes de sus actividades.

Por último contemplamos la posibilidad de favorecer los intercambios objeto de esta sección con la publicación de algunas entrevistas y mesas redondas.

DEBATES

«AJUSTE» DE ECUACIONES QUÍMICAS: UN ENUNCIADO POCO AFORTUNADO PARA UN PROBLEMA YA RESUELTO

Juan Miguel Campanario
Departamento de Física
Universidad de Alcalá. 28871 Alcalá de Henares. Madrid.

Reyes Ballesteros
Instituto de Ciencias de la Educación
Universidad Autónoma de Madrid. 28048 Cantoblanco. Madrid.

En el número de marzo de 1990 de la revista *Enseñanza de las Ciencias* apareció un interesante comentario sobre el viejo problema del 'ajuste' de ecuacio-

nes químicas (Barberá 1990). Nos gustaría expresar nuestra opinión sobre este problema y presentar el programa de ordenador CHEQUAWRIT con el que esperamos contribuir a su solución definitiva.

1. Las ecuaciones químicas ya están ajustadas

Creemos que el problema de 'ajustar' una ecuación química está mal planteado y puede dar lugar a errores conceptuales graves. Mediante una o varias ecuaciones químicas se expresa la conservación de la masa y de la carga de los compuestos químicos que intervienen en una reacción. Una ecuación química deberá, por tanto, estar ajustada (Missen y Smith 1989). En general, un sistema que reac-

ciona puede describirse mediante una ecuación química aunque no siempre es así. Debido a ello los términos *ecuación* y *reacción* no deben intercambiarse. No existe el problema de 'ajustar' una ecuación química. El verdadero problema es encontrar el conjunto de ecuaciones químicas (o afirmaciones sobre conservación de masa y carga) que permita describir un sistema que reacciona. Cualquier otro planteamiento del problema puede llevar a los estudiantes a la falsa creencia de que *siempre* basta una sola ecuación para representar un sistema que reacciona y que el truco es descubrir cuál es esta ecuación. Este error se refuerza con ejercicios de solución única. Según Missen y Smith (1989) es conveniente utilizar el término 'ecuación' en el sentido estequiométrico de conservación, mientras que

'reacción' debe emplearse en el contexto de reactivos y productos (por ejemplo en cinética). También deben utilizarse símbolos apropiados (por ejemplo: = para una ecuación, \rightarrow para una reacción, \rightleftharpoons para un equilibrio). Además se debe sustituir la palabra 'ajustar' por 'escribir'. A nosotros se nos ocurre que en el contexto escolar puede llamarse *esqueleto de una ecuación química* a lo que queda cuando se suprimen los coeficientes estequiométricos de la ecuación para que los estudiantes la escriban correctamente.

2. Planteamiento matricial de la escritura de ecuaciones químicas

Cuando el sistema que reacciona se puede describir mediante una única ecuación química, el problema consiste en encontrar un conjunto de coeficientes que sirva para expresar la conservación de la masa y la carga, dado el esqueleto de la ecuación. Puesto que una ecuación química no es más que una restricción, la solución del problema va implícita en su enunciado. En general se trata de establecer un conjunto de ecuaciones algebraicas que satisfagan la restricción de que masa y carga deben conservarse. Éste es el fundamento del método de las matrices desarrollado por Missen y Smith (1982), discutido por Blakley (1982) y presentado en esta misma revista por Garrigós (1984). En esencia, se trata de construir una ecuación matricial mediante los subíndices de los elementos químicos. Las incógnitas son los coeficientes correspondientes a los compuestos que intervienen en la ecuación química. Debido a que en una ecuación química no se expresan cantidades sino proporciones entre cantidades, siempre existe un grado de libertad adicional que permite y obliga a elegir entre los infinitos conjuntos de coeficientes múltiplos entre sí que existen para cada ecuación. Se suele escoger el conjunto de coeficientes enteros menores y ésta es la restricción $n+1$. Por ello no se debe suponer que el origen del grado de libertad adicional está en que generalmente se trabaja con ecuaciones químicas en las que intervienen n elementos químicos y $n+1$ compuestos (un contraejemplo es la ecuación $4\text{ClO}_3\text{K} = 3\text{ClO}_4\text{K} + \text{ClK}$ con 3 elementos, 3 compuestos e infinitos conjuntos de coeficientes estequiométricos múltiplos entre sí). Cuando en una ecuación aparecen n elementos y $n+2$ o más compuestos químicos, el conjunto de coeficientes estequiométricos no es único⁽¹⁾. Así, dado el esqueleto $\text{S} + \text{O}_2 = \text{SO} + \text{SO}_2$ se pueden escribir, entre otras, las ecuaciones $3\text{S} + 2\text{O}_2 = 2\text{SO} + \text{SO}_2$ y $5\text{S} + 3\text{O}_2 = 4\text{SO} + \text{SO}_2$. Esto ocurre porque el sistema correspondiente de ecuaciones algebraicas está indeterminado. Sin embargo, el hecho de que en una ecuación química aparezcan n elementos químicos y n o $n+1$ compuestos

tampoco garantiza que exista un único conjunto de coeficientes (por ejemplo, para el esqueleto $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_3 = \text{C}_2\text{H}_2\text{O} + \text{C}_4\text{H}_6\text{O}_2$, existen infinitos conjuntos de coeficientes no múltiplos entre sí). Además, el que en un esqueleto aparezcan n elementos y n compuestos químicos ni siquiera es garantía de que pueda encontrarse al menos un conjunto de coeficientes, como ocurre con $\text{SO}_2 + \text{H}_2 = \text{SO}_4\text{H}_2$. El determinante del sistema nos permite averiguar cuando se produce alguna de las situaciones anteriores. Este método es lo suficientemente general y potente como para competir con recetas más o menos tradicionales. Es obvio que plantear a mano el conjunto de ecuaciones, invertir la matriz y obtener las soluciones es una tarea abrumadora, pero todo ello puede ser llevado a cabo mediante un programa de ordenador tal como se explica más adelante.

3. ¿Qué se consigue escribiendo ecuaciones químicas?

La química es una ciencia llena de tradiciones. Generaciones sucesivas de estudiantes de química se han visto obligados a recitar de carrerilla el sistema periódico, a memorizar listas enormes de propiedades físico-químicas y hasta a identificar el color, olor y sabor de innumerables compuestos. Otro rito de iniciación es el 'ajuste' (sic) de ecuaciones químicas. Es evidente que escribir una ecuación química es imprescindible para poder iniciar muchos de los ejercicios tradicionales. Generalmente los coeficientes estequiométricos se pueden adivinar por tanteo, pero no siempre es posible. De ahí que, para obtener estos coeficientes, se hayan propuesto algunos métodos/recetas. Uno de los métodos/recetas más populares es el del ion-electrón, que los estudiantes asocian rápidamente a las ecuaciones de oxidación-reducción. Sin embargo, el origen de las reglas que gobiernan el método rara vez se explica a los estudiantes, lo cual no hace sino incrementar la arbitrariedad del método/receta. Mientras tanto partes importantes del programa quedan sin cubrir y todo esto ¿para conseguir qué?

No resulta extraño detectar concepciones erróneas en estudiantes que son perfectamente capaces de escribir ecuaciones químicas. Especialmente revelador resulta el trabajo de Yaroch (1985). Este autor entrevistó a estudiantes americanos de enseñanza media para averiguar cómo obtenían coeficientes estequiométricos a partir de esqueletos sencillos de ecuaciones químicas. Para una parte importante de los estudiantes capaces de escribir correctamente ecuaciones químicas el conocimiento químico de los coeficientes y subíndices era casi inexistente. Según estos alumnos los coeficientes y los

subíndices eran números que se distinguían principalmente por su situación en la ecuación y ambos proporcionaban la misma información: el número de símbolos presentes. La función de los coeficientes era multiplicar los subíndices para balancear la ecuación. Resultan asombrosos los diagramas dibujados por estos estudiantes para explicar las ecuaciones químicas. No dudamos que la escritura de ecuaciones químicas en combinación con otras estrategias de enseñanza pueda tener algún valor para los estudiantes, pero creemos que con la escritura repetitiva de ecuaciones químicas (tarea harto frecuente en nuestras aulas) poco o nada puede aprenderse y es mucho el tiempo que se derrocha. Por todo ello nos gustaría que los estudiantes se dedicasen a tareas más creativas más relacionadas con los principios y leyes generales de la química.

4. La escritura automática de ecuaciones químicas

Hemos desarrollado el programa CHEQUAWRIT⁽²⁾ para IBM/PC o compatible para escribir automáticamente, siempre que ello sea posible, ecuaciones químicas a partir de sus esqueletos. El programa se basa en el método de las matrices mencionado anteriormente y puede ser utilizado por cualquier estudiante de enseñanza media. Para obtener una ecuación química con el programa sólo es preciso teclear el esqueleto correspondiente en el mismo orden en que se escribiría habitualmente con lápiz y papel. Para poder escribir la ecuación química correspondiente a un esqueleto, el programa debe disponer de una entrada apropiada. Para ello comprueba constantemente que la entrada que se teclea es correcta. Esto significa que los elementos químicos que se introducen deben existir y que se cumplen las reglas de nomenclatura y formulación de la IUPAC. Una vez introducido el esqueleto de la ecuación, se construye y se invierte la matriz del sistema previa comprobación del determinante. Se dispone de una tecla de ayuda que informa de los caracteres que pueden ser tecleados después de uno dado. Por ejemplo, detrás de un paréntesis abierto en una fórmula no tiene sentido teclear un signo más, sólo puede aparecer la inicial (mayúscula) de un elemento químico. Las fórmulas químicas se representan mediante caracteres de texto normales o mediante un conjunto de caracteres gráficos que sitúan correctamente los subíndices numéricos. Siempre que se teclea un esqueleto, se obtiene la ecuación química correspondiente o se informa al usuario de la razón por la cual no se puede obtener dicha ecuación. Obviamente, la utilización del programa CHEQUAWRIT en casos sencillos resulta superflua y puede ser contraproducente.

Sin embargo creemos que la escritura automática de ecuaciones químicas es una alternativa viable a la repetición memorística y mecánica de recetas que sólo conducen a un resultado que debería ser el dato inicial para otra clase de ejercicios.

Notas:

1. Obviamente nos referimos a conjuntos de coeficientes distintos a los que se obtienen multiplicando por un número arbitrario.

2. Este programa puede conseguirse enviando un disco a J.M. Campanario, Departamento de Física, Universidad de Alcalá, 28871 Alcalá de Henares, Madrid.

Referencias bibliográficas

Barberá, O., 1990. Ajuste de ecuaciones químicas: ¿por qué usar reglas arbitrarias y hechos ficticios?, *Enseñanza de las Ciencias*, 8, pp. 85-88.

Blakley, G.R., 1982. Chemical Equation Balancing, *Journal of Chemical Education*, 59, pp. 728-734.

Garrigós, L., 1984. Sobre el ajuste de ecuaciones químicas, *Enseñanza de las Ciencias*, 2, pp. 79-80.

Missen, R.W., Smith W.R., 1989. A Question of Basic Chemical Literacy?, *Journal of Chemical Education*, 66, pp. 217-218.

Smith, W.R., Missen, R.W., 1982. *Chemical Reaction Equilibrium Analysis: Theory and Algorithms*; (Wiley: New York). Capítulo 2.

Yarroch, W.L., 1985. Student understanding of chemical equation balancing, *Journal of Research in Science Teaching*, 22, pp. 449-459.

EXPERIENCIAS DE AULA

UNA ESTRATEGIA ENCAMINADA A PRODUCIR EL CAMBIO CONCEPTUAL

Rafael Lablanca Lafuente.
I.P.F.P. «Luis de Lucena». Guadalajara.

Las teorías científicas deben de construirse a partir de lo que el alumno ya sabe, por lo que resulta de fundamental importancia el conocimiento de los errores conceptuales; es decir, de las ideas que resultan incorrectas para interpretar la ciencia y que se caracterizan, además, porque nacen de forma natural, sin instrucción premeditada; resulta difícil el cambiarlas y el alumno no suele ser consciente de ellas, dando explicaciones diferentes a casos similares.

En este trabajo se estudia la estrategia a seguir para producir el cambio conceptual en calorimetría y cambios de estado; en definitiva, estos conceptos se tratan de modo diferente a como se venía haciendo en cursos anteriores.

Se empieza detectando las ideas previas de los alumnos. Para esto hay diversos procedimientos, como pueden ser: la entrevista clínica de Piaget, la asociación de palabras, las definiciones de conceptos, la construcción de árboles conceptuales, etc. Es frecuente el uso de varios de ellos para un mismo tipo de alumnos. En nuestro caso se ha seguido una peculiar técnica que trata no sólo de encontrar concepciones espontáneas, sino de que los alumnos tomen conciencia de sus ideas, lo cual constituye un paso previo y de suma importancia para producir un cambio conceptual. El método consta de cuatro partes:

- 1) Pedirles a los alumnos que hagan una redacción sobre calor-temperatura y las posibles relaciones entre los dos.
- 2) Comentar con los alumnos las ideas puestas de manifiesto en sus redacciones tratando de encontrar los razonamientos que falten.
- 3) Entre las preconcepciones detectadas

con todo lo anterior y las publicadas en la bibliografía, se han preparado dos pruebas: la primera de elección múltiple con 12 ítems y la segunda de verdadero/falso con 67 ítems. En cada pregunta figura como respuesta alternativa «no lo sé» para eliminar en lo posible la aleatoriedad.

4) Al cabo de unos días se les ha pasado a los alumnos una última prueba recopilación de las anteriores, reducida a 16 ítems de verdadero/falso y a 7 ítems de respuesta de elección múltiple, con la doble finalidad de tener las preconcepciones más definidas y la de hacer más fácil que los alumnos tomen conciencia de sus ideas previas.

Las preconcepciones más importantes detectadas se pueden reducir a las siguientes:

- Identificación de los términos de calor y temperatura.
- En un cambio de estado no está implicado el calor.