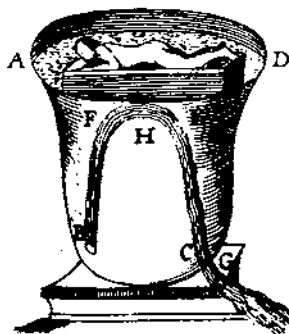


INTERCAMBIOS, COMENTARIOS



Y CRÍTICAS

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: ¿POR QUÉ USAR REGLAS ARBITRARIAS Y HECHOS FICTICIOS?

Barberá, Ó.
Departament de Didàctica de les Ciències Experimentals, Universitat de València.

Introducción

El balance de ecuaciones químicas es un área que suele causar especiales dificultades a los estudiantes de todos los niveles (Allsop y George 1982). Éstas se acentúan si los procesos químicos considerados involucran reacciones de oxidación/reducción. El ánimo que me ha movido a escribir este artículo es el de intentar reflexionar sobre el porqué de la

aparición de estas dificultades en lo que, en principio, debería de ser un cálculo matemático relativamente sencillo.

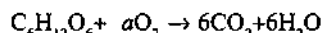
Lo primero que debemos plantearnos es la finalidad que perseguimos cuando hacemos que nuestros alumnos realicen ejercicios de ajuste de ecuaciones químicas. Creo que todos somos conscientes de que se trata sencillamente de ejercicios didácticos para demostrar y afianzar el principio enunciado por Lavoisier en 1777, pilar de la química moderna: "la masa se conserva, elemento por elemento". A este principio se le tuvo que añadir con posterioridad el de conservación de la carga, debido al descubrimiento de las partículas subatómicas (1897) y a la subsecuente aparición del modelo atómico de Bohr (1913); son éstas las dos únicas premisas, las de conservación de la masa y de la carga, que nos deben preocupar a la hora de plantear ejercicios

a nuestros estudiantes. Sin embargo, se olvida con demasiada frecuencia este aspecto.

La mayoría de libros de texto presentan como métodos habituales de ajuste de ecuaciones el del ión/electrón y el del número de oxidación para los procesos redox, y el de inspección o algebraico para el resto (Nyman y King 1979, Boikess y Sorum 1987). Intentaré demostrar en los siguientes párrafos que esta práctica no sólo es superflua, sino que además lleva al alumno a pensar que los compuestos y elementos se rigen por principios distintos cuando se enfrentan a una reacción de oxidación/reducción, que cuando lo hacen a cualquier otro tipo de proceso químico, cuestión obviamente falsa.

Cuando una persona intenta resolver una ecuación química sencilla lo hace por simple inspección, es decir, observa qué

elementos aparecen una única vez a ambos lados de la ecuación y realiza un ejercicio algebraico mental. Por ejemplo, para la reacción global del proceso de respiración que sufre una molécula de glucosa, fijamos arbitrariamente como la unidad el coeficiente de esta última, lo que proporciona automáticamente la solución para los coeficientes de las moléculas del segundo miembro de la reacción:



Determinamos posteriormente la incógnita a por medio de una ecuación de balance del oxígeno, que por su escasa dificultad se realiza mentalmente:

$$\text{Oxígeno: } 6+2a=12+6$$

Debido a la extrema sencillez del proceso, no nos detenemos a pensar sobre él. Utiliza únicamente los principios de conservación de la masa y de la carga, aunque en este caso particular el de la carga no se hace patente debido a la manera en que está formulada la ecuación.

En la mayoría de ecuaciones, el número de coeficientes necesarios para su balance es una unidad mayor que el número de elementos a ajustar, por lo que uno de éstos se debe fijar de manera arbitraria, tal y como se ha hecho para el caso de la glucosa.

Otros métodos

Esta forma de trabajar las ecuaciones químicas es una aplicación directa de la leyes naturales, y se puede emplear para todas las clases de reacciones, tal y como veremos más adelante. Si esto es así realmente, ¿por qué se utilizan otros métodos a la hora de realizar estos ejercicios? ¿Qué aportan estos métodos? Estas preguntas han sido respondidas en un artículo (Merino y De Diego 1984) en el que se presentan las dificultades de los métodos del cambio del número de oxidación y del ión/electrón para resolver algunos casos de ajuste, así como las reglas arbitrarias y hechos ficticios que usan estos métodos ampliamente difundidos y que, sin duda, pueden llevar a errores conceptuales a los estudiantes que se ven en la obligación de aplicarlos.

En este mismo trabajo anteriormente aludido, se presenta como alternativa positiva el método de ajuste de Ling (Ling 1979), un método sencillo basado en el algebraico pero algoritmizado en forma de reglas sencillas y fáciles de memorizar. A pesar de ser, a mi juicio, un método mucho más útil que los dos anteriormente citados, presenta dos aspectos negativos:

1) Al proponer una serie de reglas, aunque sencillas, se desvía la atención del alumno desde los principios químicos

que debe aplicar (y que estamos intentando que refuerce) hacia la pura aplicación del método de ajuste que se le presenta.

2) Este método se centra exclusivamente en los procesos redox, con lo que al alumno se le presenta de nuevo este tipo de reacciones como procesos químicos distintos a los demás, cuando todas las reacciones se basan en los mismos principios.

Ling's Rules for Balancing Redox Equations by Inspection

Step 1. Locate any elements that must have the same coefficient in the balanced equation, those appearing only once on each side of the equation and in equal numbers on both sides. Mark these terms with arrows.

Step 2. Locate any elements that appear only once on each side of the equation but have unequal numbers of atoms. Balance these elements first.

Step 3. When steps 1 and 2 do not work, look for elements that must be present in a constant ratio on each side of the equation, elements appearing only once and in the same compound on one side or the other. Balance these elements so as to maintain this ratio on both sides of the equation.

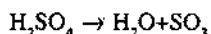
After applying the three steps above, if the equation still cannot be balanced, use the algebraic method to complete the balancing process. Assign letters to whatever coefficients remain unknown and determine their values by simple algebraic equations.

El proceso mental de ajuste de ecuaciones sencillas como la de la respiración anteriormente expuesta, es lo que se conoce como método de inspección. Durante años se ha podido leer en los libros de texto que muchas ecuaciones redox no pueden ser ajustadas por inspección. Actualmente, métodos como el de Ling hacen que este tipo de afirmaciones queden obsoletas. Es mi intención ahora demostrar que el método de inspección funciona admirablemente para ajustar todos los tipos de reacciones químicas, y para ello me valdré de algunos ejemplos propios y de otros ya publicados anteriormente (Porter 1985, García 1987, Kolb 1981).

Viabilidad y potencialidad del método de inspección; algunos ejemplos

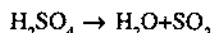
Como ya he señalado antes, la mayoría de ecuaciones a ajustar poseen un número de incógnitas (coeficientes) superior en una unidad al de elementos presentes en la ecuación, por lo que se debe fijar arbitrariamente una de ellas. Esto no representa ninguna dificultad ya que los coeficientes no representan cantidades, sino la proporción en que se encuentran los distintos elementos en la reacción. De forma convencional se elige el juego de coeficientes representado por los números enteros positivos menores de entre los posibles.

En algunos casos el número de coeficientes y el de elementos es el mismo, y se habla de ecuaciones "ya ajustadas". Un ejemplo de esto es la deshidratación del ácido sulfúrico:

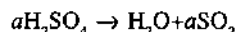


Hay tres elementos (H, S y O) y tres coeficientes. Si se fija como uno el número de átomos de azufre en la parte de reaccionantes, se fija automáticamente también como la unidad el número de moléculas de trióxido de azufre que deben aparecer como producto. Por ello, el número de moléculas de agua será también uno para ajustar el hidrógeno. Si se comprueba el balance para el oxígeno, se observa que la ecuación ya está ajustada tal y como ha sido escrita.

Otra de las potencialidades de este método es la de mostrar de forma rápida y sencilla reacciones que no son posibles. Veamos por ejemplo la siguiente ecuación:



Si se fija como a el número de átomos de azufre:

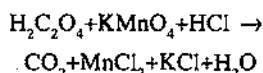


Ajustando el hidrógeno se observa que las moléculas de agua deben ser también a , luego para ajustar el oxígeno nos queda la ecuación:

$$\text{Oxígeno: } 4a = a + 2a$$

Su única solución es $a=0$, lo que demuestra que la reacción es imposible.

El tratamiento de las reacciones con compuestos orgánicos con este método, no precisa de la asignación de cargas a los átomos de carbono como ocurre con otros métodos. Veamos la oxidación del ácido oxálico por el permanganato de potasio:



Si fijamos como uno el número de moléculas de permanganato:

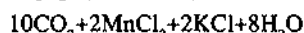


con lo que las ecuaciones de balance son:

$$\text{Hidrógeno: } 2a+3=2b$$

$$\text{Oxígeno: } 4a+4=4a+b$$

Resolviéndolas se obtiene $b=4$ y $a=5/2$, con lo que una vez eliminados los coeficientes fraccionarios la ecuación queda ajustada como:



Si este mismo proceso lo escribimos en forma iónica, el ajuste no es más complicado; fijamos ahora como uno el número de moléculas de ácido oxálico:



Ahora las ecuaciones resultantes serán:

$$\text{Hidrógeno: } 2+3b=2c$$

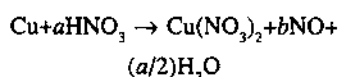
$$\text{Oxígeno: } 4+4a+b=4+c$$

$$\text{Carga: } -a+b=2a$$

Resolviendo por sustitución, $a=2/5$, $b=6/5$ y $c=14/5$, con lo que la reacción ajustada queda:



Como se puede ver los procesos redox no presentan dificultad para ser ajustados de esta forma. Veamos otro ejemplo: la oxidación del cobre por el ácido nítrico. Elijamos como la unidad el número de átomos de cobre:



Aparecen dos ecuaciones de balance:

$$\text{Nitrógeno: } a=2+b$$

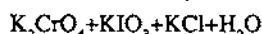
$$\text{Oxígeno: } 3a=6+b+(a/2)$$

Resolviendo, $a=8/3$ y $b=2/3$, con lo que se obtiene la ecuación ajustada como sigue:



Quizá el lector piense que es la casualidad o la elección de estos ejemplos lo que permite resolver los ajustes mediante sistemas sencillos de ecuaciones simultáneas. Sin embargo, es la naturaleza misma de las reacciones la causante de este fenómeno, debido a que normalmente cada elemento de la ecuación aparece un número limitado de veces incluso en las más complejas. Veamos ahora un ejemplo de proceso redox en medio básico, uno de los problemas más desagradables con los que se enfrentan

nuestros alumnos. Usaremos la reacción:



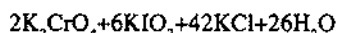
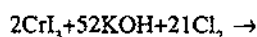
Elijiendo arbitrariamente como uno las moléculas de yoduro de cromo (III):



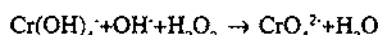
$$\text{Potasio: } a=2+3+b$$

$$\text{Oxígeno: } a=4+9+(a/2)$$

Resolviendo las ecuaciones $a=26$ y $b=21$, con lo que la reacción ajustada es:



Veamos ahora el proceso de ajuste de una ecuación redox en medio básico escrita en forma iónica:



Fijando como uno los átomos de cromo:



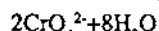
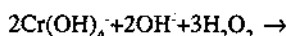
Las ecuaciones de balance quedan como:

$$\text{Oxígeno: } 4+a+2b=4+c$$

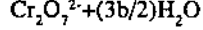
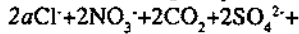
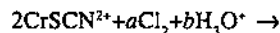
$$\text{Hidrógeno: } 4+a+2b=2c$$

$$\text{Carga: } -1-a=-2$$

Resolviendo $a=1$, y por sustitución $b=3/2$ y $c=4$. Por tanto:



Dos ejemplos instructivos de la capacidad de esta forma de ajuste los proporciona S.K. Porter. Veamos el primero; en él se fija como dos los átomos de cromo:

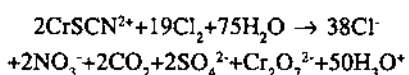


Se plantean dos ecuaciones:

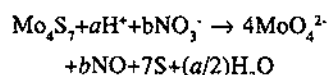
$$\text{Oxígeno: } b=6+4+8+7+(3b/2)$$

$$\text{Carga: } 4+b=-2a-2-4-2$$

La ecuación de balance de oxígeno proporciona $b=-50$, y la de carga $a=19$. El valor negativo de b hace que se coloquen los iones hidroxonio en la parte derecha de la ecuación, desplazando el agua a la izquierda. Por tanto la ecuación no puede ajustarse con los hidrogeniones en la parte de reactivos aunque el problema se dé en medio ácido, tal y como aparece en un popular texto de resolución de problemas de Química General (Porter 1985). Por tanto la ecuación ajustada queda:



El segundo ejemplo es la reacción de oxidación del sulfuro de molibdeno por el ácido nítrico. Fija el coeficiente del sulfuro como uno:

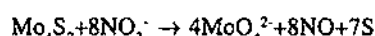


Se plantean dos ecuaciones:

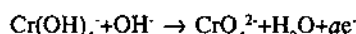
$$\text{Oxígeno: } 3b=16+b+(a/2)$$

$$\text{Carga: } a-b=-8$$

Al resolver se obtiene $a=0$ y $b=8$, por lo que se puede deducir que el ácido no es reactivo. Puede que actúe como catalizador en la reacción, pero éstos no aparecen en las ecuaciones ajustadas. Por tanto:



En los problemas de electroquímica, en los que se usan semiecuaciones, este método es igualmente aplicable: veamos un ejemplo de oxidación de cromo (III) a cromato con un electrodo inerte en medio básico:



Fijando el número de átomos de cromo como uno:

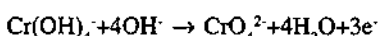


Las ecuaciones de oxígeno y carga son:

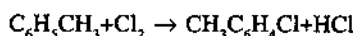
$$\text{Oxígeno: } 4+b=4+(b+4/2)$$

$$\text{Carga: } -1-b=-2+a$$

Al resolver se obtiene $a=3$ y $b=4$ con lo que la ecuación queda ajustada con el número de electrones correspondiente sin tener que recurrir a hechos arbitrarios usados por otras técnicas:



Para el caso de reacciones orgánicas, este método no puede, obviamente, evitar la complejidad que entraña sus ajustes. La mayoría de reacciones orgánicas producen una gran cantidad de subproductos fruto de reacciones paralelas, no deseadas en la mayoría de los casos. Esto se debe a que las moléculas orgánicas poseen muchos enlaces de fortaleza similar, y por tanto se pueden obtener distintos productos aunque nuestro propósito sea el conseguir sólo uno de ellos. Un ejemplo de estas reacciones complejas es la cloración de un alcano como el etano por medio de la luz ultravioleta, reacción que transcurre por medio de radicales libres (Holm 1986). No obstante, las reacciones orgánicas que producen un producto principal, pueden ajustarse igualmente aplicando este método. Veamos por ejemplo la reacción de cloración del tolueno; el catalizador tricloruro de aluminio no se considera en la ecuación escrita:



En esta reacción se obtienen los isómeros *orto* y *para* del clorotolueno, y si los consideramos por separado no podemos obtener un único ajuste, ya que el número de coeficientes sería superior en dos unidades al de ecuaciones posibles, lo cual es diagnóstico de la presencia de reacciones múltiples. La ecuación queda ajustada tal y como está escrita, y para conocer la proporción de isómeros en la reacción se debe recurrir necesariamente al análisis químico. La Ley de conservación de la masa no puede proporcionarnos este dato.

Con estos ejemplos espero que haya quedado claro el potencial didáctico y práctico de este método. No quiero pasar por alto que para ecuaciones extremadamente complejas en su ajuste (Harjadi 1986; Swinehart 1985), existen métodos matriciales puramente matemáticos, fácilmente aplicables a ordenadores (Blakley 1982, Garrigós 1984), que pueden ser útiles también para el desarrollo de otras capacidades en nuestros alumnos. No obstante, creo que debemos evitar la tentación de presentar esta clase de ejercicios complicados, siempre y cuando lo que deseemos sea ilustrar y reforzar los conceptos de los estudiantes sobre las leyes naturales que rigen la

estequiometría de las reacciones químicas.

Referencias bibliográficas

- Allsop, R.T. y George, N.H., 1982. Redox in Nuffield advanced chemistry, *Education in Chemistry*, 19, pp. 57-59.
- Blakley, G.R., 1982. Chemical Equation Balancing, *Journal of Chemical Education*, 59, pp. 728-734.
- Boikess, R.S y Sorum, C.H., 1987. *Cómo resolver problemas de química general* (Paraninfo S.A.: Madrid), 6ª ed., pp. 311-345.
- García, A., 1987. A New Method to Balance Chemical Equations, *Journal of Chemical Education*, 64, pp. 247-248.
- Garrigós, L., 1984. Sobre el ajuste de ecuaciones químicas, *Enseñanza de las Ciencias*, 2, pp. 79-80.
- Harjadi, W., 1986. A Simpler Method of Chemical Reaction Balancing, *Journal of Chemical Education*, 63, 978-979.

Holum, J.R., 1986. *Fundamentals of General, Organic and Biological Chemistry* (John Wiley & Sons Inc.: New York), 3ª ed. pp. 301-302.

Kolb, D., 1981. Balancing Complex Redox Equations by Inspection, *Journal of Chemical Education*, 58, pp. 642-645.

Ling, J., 1979. *Easy Chem*, Vol. 1, (Goodman Pub.: Hong Kong), pp. 105-112.

Merino, J.M. y De Diego, A.M., 1984. Ajuste de ecuaciones redox por inspección, *Enseñanza de las Ciencias*, 2, pp. 72-75.

Nyman, C.J. y King, G.B., 1984. *Problemas de química general y análisis cualitativo* (AC ed.: Madrid), pp. 27-36.

Porter, S.K., 1985. How Should Equation Balancing be Taught?, *Journal of Chemical Education*, 62, pp. 507-508.

Swinehart, D.F., 1985. More on Chemical Reaction Balancing, *Journal of Chemical Education*, 62, p. 55.

GRUPOS DE TRABAJO

SEMINARIO PERMANENTE DE CIENCIAS EXPERIMENTALES

Margarita González Ortiz
Apartado de Correos 1038 Huelva
Teléfono (955) 226469

El grupo se constituyó en el curso 1984-85 y continúa en la actualidad, siendo aprobado todos los cursos como Seminario Permanente por la Consejería de Educación de la Junta de Andalucía.

Está formado por profesores de Ciencias de EGB y de Física y Química y Ciencias de EEMM.

El grupo ha realizado guías para parte del currículo de ciencias. Se ha basado en técnicas y conclusiones del trabajo realizado por el grupo Rutherford, tanto didácticas como de investigación psicopedagógica. Ha coordinado cursos y encuentros en los CEPs de Huelva. Ha presentado una comunicación de investigación-acción en el II Congreso Internacional de Investigación en la didáctica de las Ciencias y de las Matemáticas, titulada: "El profesor, motivador de aprendizajes".

En la actualidad los objetivos de nuestro plan de trabajo son:

Elaborar un currículo de ciencias para el ciclo 12-16 años y depositarlo en el CEP de Huelva.

Aplicar las técnicas de la investigación-acción.

Adecuarse a los objetivos de la Reforma.

Analizar el desarrollo cognitivo y el pensamiento concreto/formal de los alumnos de este ciclo.

Extender entre el profesorado todo aquello que motive o ayude a elaborar e investigar sobre sus propios currículos para el aula.