

Experiencias para la enseñanza de la ciencia en la educación básica y media superior.

Aprendizaje cooperativo del concepto 'cantidad de sustancia' con base en la teoría atómica de Dalton y la reacción química

Parte II: Concepciones alternativas de 'reacción química' Anexo: cuadernillo 'Masas atómicas relativas de los elementos'

Emilio Balocchi,¹ Brenda Modak,¹ Manuel Martínez M.,¹ Kira Padilla,² Flor Reyes C² y Andoni Garritz²

Abstract (Cooperative learning of the concept 'amount of substance', based on Dalton's atomic theory and the chemical reaction)

An active teaching strategy based on cooperative learning has been elaborated that uses a printed media called "cuadernillo" (*booklet*) to present contents and learning activities. This is a personal media used in the classroom with the students arranged in small groups, which leads the development of a cooperative class with the teacher in a supporting role. The printed material covers various fundamental concepts of chemistry, such as 'chemical reaction and equation', 'elements and compounds', 'symbols and formulas', 'relative atomic mass' and finally 'amount of substance and mol'. It has been designed for secondary and high school students (ages between 15 and 18) with a general culture on chemistry and physics.

In this paper, the second part will start with the alternative conceptions that have been reported for 'chemical reaction' and will end with the second part of the booklet in its appendix, which will develop the topic of 'relative atomic masses of the elements'. The students must relate macroscopic and microscopic information of a reaction between two elements, knowing the atomic proportion in which their atoms react. We arrive to the conclusion that two samples of different clips with masses such that its quotient is equal to the relative mass, have necessarily the same number of clips.

Finally, the third part of the paper will start with the students' and teachers' alternative conceptions of 'amount of substance' and its unit, 'the mole' and it will develop six didactic recommendations to present the topic. Once that this booklet has covered the topic of atomic relative mass and gave the reasons why there is the same number of atoms in two samples that have a weight in proportion to their relative masses, the third part booklet will contain the calculation of relative masses of the elements, will introduce the presence of isotopes in real samples and the concept of elementary entity, will present the transformation among amount of substance, number of elementary entities, mass, and volume; and the concepts of the Avogadro's constant (as 6.0×10^{23} elementary entities mol^{-1}), molar mass and molar volume.

This closes the historical process that starts with the atomic hypothesis by Dalton in 1803 and ends with the presentation of the mole concept by Ostwald, in 1900, nearly after a hundred years, passing through the correct atomic weight scale by Cannizzaro in 1860.

Introducción

En esta segunda parte del artículo proseguimos con la estrategia cooperativa rumbo al concepto 'cantidad de sustancia'. En el cuerpo del artículo se presenta un apoyo para el profesor que encabeza el grupo de alumnos, en el que hemos reunido un buen número de las concepciones alternativas informadas en la literatura sobre la 'reacción química'. La idea es que el profesor conozca estas ideas que llevan las alumnas y los alumnos a la clase, para que pueda establecer estrategias que conduzcan a ellos hacia el cambio conceptual. En el anexo presentamos el cuadernillo correspondiente a esta segunda parte, en el

¹ Universidad de Santiago de Chile, Facultad de Química y Biología, Departamento de Química de los Materiales Área de Didáctica de la Química.

Correo electrónico: ebalocch@lauca.usach.cl

² Universidad Nacional Autónoma de México Facultad de Química, 04510 México, D.F.

Correo electrónico: andoni@servidor.unam.mx

que a través de una representación microscópica de reacciones de formación de compuestos utilizando clips de diversas formas y colores, se desarrolla el tema de la masa atómica relativa de los elementos y se llega a la conclusión de que *dos muestras de clips que tienen unas masas cuyo cociente es el mismo que el de las masas relativas, tienen forzosamente el mismo número de clips*. Estaremos preparados, entonces, para contar pesando los clips, como lo hizo Ostwald cuando definió en 1900 el concepto de mol.

Son dos temas aparentemente alejados los que reúne este segundo artículo, pero ambos forman parte sustantiva del tema general de la estrategia hacia el concepto ‘cantidad de sustancia’, por la vía que nos hemos trazado del modelo atómico de Dalton y la reacción química.

La reacción química

Éste es un tema de difícil aprendizaje para los estudiantes de la secundaria y el bachillerato. Y esa dificultad proviene en esencia de la poca capacidad estudiantil para pasar de las representaciones de una reacción de su forma macroscópica, a la microscópica y a la de símbolos y fórmulas (Johnstone, 1991). Por ejemplo, en la secundaria los estudiantes deben aprender a considerar las reacciones químicas como conversión de unas sustancias en otras. Adicionalmente, también deben aprender su significado en términos de rearreglos de partículas y su representación simbólica en términos de ecuaciones químicas (palabras, dibujos icónicos, fórmulas). Ésta terna de representaciones apunta a la complejidad de la naturaleza de la química (Gabel, 1999). Para los alumnos, la demanda conceptual de pasar a lo largo de los tres dominios de significados puede ser abrumadora (De Jong y Van Driel, 2004). No obstante, este aspecto del tránsito macro-micro-simbólico se vuelve uno de los objetivos más importantes de la educación química, de ahí la trascendencia de que los profesores conozcan las concepciones estudiantiles y las dificultades en la enseñanza de este tema.

Las concepciones alternativas sobre el concepto de reacción química

Algo que el profesor debe tener en cuenta al encauzar un taller cooperativo, tanto en la primera como en esta segunda parte, son las concepciones alternativas que tienen las alumnas y los alumnos sobre la ‘reacción química’. El conocimiento de estas concepciones forma parte esencial del conocimiento pedagógico del contenido (CPC), es decir, el que debe

poseer el profesor para hacer comprensible el tema ante sus estudiantes. Según Magnusson, Krajcik y Borko (1999) el CPC reúne cinco componentes, el cuarto de los cuales tiene que ver con las dificultades de aprendizaje por parte de los alumnos y, por lo tanto, con sus concepciones alternativas: a) conocimiento de un conjunto de objetivos de la enseñanza de las ciencias, y del tema, en particular; b) conocimiento del currículo; c) conocimiento de la evaluación en ciencias; d) conocimiento de los aprendices, y e) conocimiento de estrategias instruccionales.

El término concepción alternativa se refiere a explicaciones construidas por un alumno basadas en la experiencia propia, para hacer inteligibles un rango de objetos y fenómenos naturales. Se trata de una concepción alterna a la científica, de ahí el nombre de alternativa (Taber, 2002). Las concepciones alternativas están firmemente arraigadas en la mente de las alumnas y los alumnos, cuesta trabajo eliminarlas o complementarlas hacia concepciones más científicas. Para que la investigación llegue hasta los docentes lectores de esta revista, como lo sugiere Taber (2001), incluimos aquí la revisión de varios artículos y libros que reúnen las ideas previas de los alumnos alrededor de diversos temas de química (Andersson, 1990; Wandersee, Mintzes y Novak, 1994; Garnett, Garnett, y Hackling, 1995; Arizona, 2001; Taber, 2002; Kind, 2004) y hemos tomado de ellos y de los artículos allí referenciados las siguientes menciones de concepciones alternativas de los estudiantes, las cuales hemos ordenado por temas.

Algunas concepciones generales

Mortimer y Miranda (1995, p. 23) nos explican que *“las mayores dificultades que enfrentan los alumnos de enseñanza fundamental o media al estudiar las reacciones químicas están relacionadas con la gran extensión y generalización de este concepto. Al final de cuentas, qué es lo que puede haber en común entre fenómenos tan diferentes como la combustión de una vela, la oxidación de un clavo o la disolución de un comprimido antiácido.”*

Novick y Nussbaum (1978, p. 274) entrevistan a 20 alumnos israelíes de enseñanza secundaria para recabar sus concepciones sobre la estructura de la materia. Uno de los cinco aspectos del modelo de la estructura de partículas de la materia que presentan es el de la reacción química: *“ Cuando dos diferentes sustancias interactúan para formar una tercera sustancia, lo representamos como la unión de diferentes clases de partículas”* y lo ejemplifican con la formación del humo blanco (cloruro de amonio) al hacer reac-

cionar dos gases (amoníaco y cloruro de hidrógeno). Preguntan “¿cómo se forma la sustancia blanca?”. Dos tercios de los alumnos utilizan partículas en sus explicaciones, la otra tercera parte sólo emplea una representación continua de la materia. Los autores señalan que los aspectos menos asimilados por los estudiantes fueron los relacionados con el espacio vacío entre las partículas (concepto de vacío), con el movimiento intrínseco (cinética de las partículas) y con las interacciones entre las partículas (cambio químico).

Justi (1998) realizó un estudio con alumnos de enseñanza media en el que se les pide que expliquen por qué algunas sustancias reaccionan cuando son colocadas en contacto. La autora encontró que las respuestas de los alumnos se podían relacionar con explicaciones históricas de diferentes científicos y filósofos acerca del término ‘afinidad’ ya que, dice que “una de las concepciones espontáneas más comunes de las reacciones químicas es la de que existe afinidad entre los reactivos”.

El primer tipo de respuestas se refiere a atribuir a los elementos capacidades humanas, como el amor y el odio, con el cual coinciden las explicaciones más antiguas para la ocurrencia de interacciones entre las sustancias, propiedades antropomórficas que fueron propuestas por Empédocles e Hipócrates (siglo V D.C.).

El segundo tipo de respuestas son explicaciones que aluden a la afinidad o atracción. Encontramos varios significados para el término afinidad de acuerdo con Aristóteles, Boyle y Newton. Aristóteles (siglo IV D.C.) discute los factores que podían influenciar la ocurrencia de las transformaciones, identificando diferencias y similitudes entre los materiales empleados. Boyle considera que la afinidad era resultado de formas apropiadas de las partículas que

les permiten adherirse una a la otra. Por su parte, Newton acredita que la materia está constituida de partículas y éstas se asocian por atracción y repulsión.

En la tabla 1 se presentan las explicaciones de los alumnos en el estudio de Justi.

En un taller de trabajo sobre modelación en física y química (Arizona, 2001) se realizó un extenso documento donde se presentan las diversas concepciones que tienen los alumnos de estas materias. Dos concepciones que llaman la atención con respecto a la reacción química son que aquéllas son propiciadas por agentes externos (e.g. calor) y que una reacción química continúa ocurriendo hasta que todos los reactivos se han agotado.

La reacción de combustión

Veamos cómo crea problemas en las interpretaciones de los alumnos la naturaleza gaseosa (e invisible) del oxígeno en los procesos de combustión.

Rosalind Driver (1985), basada en las propuestas de Piaget, estudió el razonamiento conservativo de los estudiantes en las transformaciones físicas y químicas. Se derivan dos hallazgos importantes de esa investigación. Primero, que muchos estudiantes emplean ideas intuitivas no científicas en sus explicaciones de los cambios químicos, adquiridas en sus experiencias de combustión, corrosión y otros fenómenos de oxidación. Por ejemplo, la tercera parte de los jóvenes en este estudio piensan que un clavo oxidado debe pesar lo mismo que el clavo original (otra tercera parte que debe pesar menos). En segundo lugar, un error al no seleccionar apropiadamente la frontera de los procesos químicos, lleva a los alumnos a no introducir un reactante en su concepción de una reacción. Por ejemplo, a no considerar el oxígeno como un reactante importante en la reacción de oxidación de la lana de hierro que se calienta, debido a su naturaleza «invisible». A partir del trabajo de Driver se ha desarrollado una multitud de estrategias para abordar el tema de ‘conservación de la masa en las reacciones químicas’, como la de Paixao y Cachapuz (2000).

Adicionalmente al de Driver, muchos otros trabajos se han dedicado a analizar las concepciones de los alumnos en relación con la reacción de combustión. Meheut, Saltiel y Tiberghien (1985), por ejemplo, videogrababan y cuestionaban a 400 estudiantes sobre la combustión, la evaporación y la fusión de diversos materiales, como alcohol, una vela o el hierro. Los experimentos que veían los alumnos

Tabla 1. Explicaciones de los alumnos de por qué unas sustancias reaccionan al ponerse en contacto con otras (Justi, 1998).

1. Significado inicial de Empédocles e Hipócrates: <i>“Las sustancias sólo reaccionan si gustan una de la otra”</i>
2. Afinidad y atracción: Aristotélica: <i>“Debe ser aquella historia de ‘semejante atrae semejante’. Cuando alguna cosa es igual, ellas tienden a reaccionar”</i>
Boyleiana: <i>“Existe afinidad entre dos sustancias cuando sus moléculas encajan, como en un rompecabezas”</i>
Newtoniana: <i>“La gente puede decir que una sustancia es afín a otra cuando existe una fuerza de atracción como en un imán. Sólo ocurre la reacción cuando existe esa afinidad, esa fuerza.”</i>

Tabla 2. Entendimientos de los alumnos de 8° grado acerca de la combustión, según BouJaoude.

1. La cera, el alcohol y el oxígeno no están activamente involucrados en la combustión.
2. Las sustancias no participan en un cambio químico durante la combustión.
3. Términos tales como evaporación y quemado pueden utilizarse intercambiamente cuando se describe la combustión del alcohol.
4. Frases como cambio físico o cambio químico pueden usarse alternativamente cuando se describe la combustión de cosas.

fueron diseñados para intentar mostrar los productos de la combustión y el papel del oxígeno en el proceso. Los resultados de la investigación muestran que las observaciones hechas por los alumnos los llevan a hacer interpretaciones muy alejadas de la reacción química entre un combustible y el oxígeno. Mencionan los autores una implicación pedagógica importante: el conocimiento de esas interpretaciones del proceso de la combustión debe proveer una mejor línea base para la enseñanza de este tópico.

BouJaoude (1991) confirma los hallazgos previos con relación a las concepciones sobre combustión y plantea la tabla 2 como una lista de malos entendidos mostrados por los alumnos en su estudio.

Otros autores, como Gómez-Crespo *et al.* (1992), analizan las ideas sobre conservación de la masa en las reacciones de combustión, al igual que de Jong *et al.* (1999), y hallan que concepciones muy similares son señaladas por profesores en formación como problemas previsibles en sus estudiantes (ver en la tabla 3 las preconcepciones que evocan dificultades en el aprendizaje).

Abraham, Williamson y Westbrook (1994) analizan las concepciones de 300 estudiantes de la secundaria, el bachillerato y la universidad sobre cinco conceptos químicos fundamentales, siendo uno el de cambio químico. Toman como ejemplo la formación de una película negra sobre una varilla de vidrio mantenida sobre la llama de una vela. Informan que

Tabla 3. Previsiones informadas de las concepciones alternativas de los alumnos sobre combustión (Gómez-Crespo *et al.*, 1992; de Jong *et al.*, 1999).

1. El oxígeno no posibilita la combustión.
2. Una temperatura mínima no es necesaria para la combustión.
3. No se forman nuevas sustancias durante la combustión.
4. Cuando la cinta de magnesio se quema, su masa decrece.

Tabla 4. Concepciones alternativas de los alumnos sobre cambio químico con porcentajes de incidencia para secundaria, preparatoria y universidad, respectivamente, reportadas por Abraham, Williamson y Westbrook.

1. La combustión de la vela es un proceso físico que la ha llevado a otro estado físico, el líquido, pero manteniendo la cera como sustancia (37%, 21% y 24%).
2. El material oscuro que se forma sobre la varilla proviene de la combustión de la mecha (4%, 18% y 22%).
3. La mecha es la que se quema, no la cera (4%, 18% y 22%).
4. La película negra proviene de la combustión de la varilla, es decir, de una reacción en el vidrio (17%, 11% y 13%).

73% de los alumnos tienen una concepción alternativa con relación al cambio observado. Las concepciones de los alumnos se presentan en la tabla 4.

Johnson (2002) presenta resultados similares al analizar la reacción química que ocurre al quemarse una vela, encuentra las explicaciones incluidas en la tabla 5 por parte de los alumnos.

En la tabla 6 presentamos las concepciones en relación con la combustión que se presentan en el taller de trabajo sobre modelación en física y química (Arizona, 2001).

Concepciones alternativas sobre estequiometría

En el capítulo 8 del estudio de Kind (2004) se reúnen las concepciones alternativas relativas a los conceptos de estequiometría, la mayor parte sobre el concepto de mol. Sólo encontramos dos trabajos en los que las cuestiones de estequiometría están ligadas al concepto de reacción.

El trabajo de Yaroch (1985) encuentra que la mitad de los alumnos de 17 años, que saben balancear ecuaciones exitosamente, es incapaz de diagramar correctamente una representación de la

Tabla 5. Concepciones de los alumnos de la combustión de una vela (Johnson, 2002).

1. Es un proceso de evaporación.
2. La cera es el soporte del pabilo, y como se derrite lentamente, controla la velocidad de quemado del pabilo.
3. La cera no se quema.

En cuanto al agua producida, los alumnos explicaron que:

4. El agua ya estaba en el aire.
5. El agua proviene de la cera.

Tabla 6. Concepciones de los alumnos acerca de la combustión (Arizona, 2001).

1. El aire arriba de la llama es el mismo que entra por debajo del mechero.
2. Sólo hay aire sobre la llama.
3. Los colores de la llama durante la combustión estaban presentes en la madera.
4. El humo ya estaba presente en la madera.
5. La combustión de la madera, del alcohol y de una vela son diferentes fenómenos.
6. La combustión es un cambio de estado (de sólido o líquido a gas).
7. La combustión de una vela es endotérmica ya que requiere de calor para iniciar.

ecuación al nivel de partículas o moléculas. Estos estudiantes dibujan representaciones congruentes con el número total de partículas involucradas, pero incongruentes con la fórmula de las sustancias y con los coeficientes de la reacción. Por ejemplo, cuando se les pedía dibujar una representación de ecuaciones (i.e. $N_2 + 3 H_2 \rightarrow 2 NH_3$), comúnmente ellos representaban 3 H_2 como H_6 y 2 NH_3 como N_2H_6 .



Ben-Zvi, Eylon y Silberstein (1987) también nos informan de ideas inapropiadas acerca de aspectos estructurales e interactivos de las reacciones químicas. Los alumnos no son capaces de distinguir entre N_2O_2 y $N_2 + O_2$. Cuando consideran los posibles productos de una reacción entre el N_2 y el O_2 , algunos no piensan factible que pueda obtenerse de esta reacción el pentóxido de dinitrógeno, N_2O_5 , porque les hacen falta tres átomos de oxígeno. Parece que la poca certidumbre que tienen los estudiantes entre los conceptos de ‘mezcla’ y ‘compuesto’ es parte del problema. Los autores realizan un análisis de tareas acerca de la combustión del hidrógeno, según la reacción, $2 H_2 + O_2 \rightarrow 2 H_2O$, e indican que la apropiada interpretación de esta ecuación requiere que el aprendiz entienda muchas cosas: la estructura y el estado físico de los reactantes y los productos, la naturaleza dinámica de las interacciones entre partículas, las relaciones cuantitativas entre las partículas, así como el enorme número de partículas involucradas en una reacción real. Estos pun-

tos deben ser recordados por el profesor que guíe el trabajo de los alumnos en este taller de aprendizaje cooperativo.

Concepciones alternativas para alumnos que consideran la materia como un continuo

El artículo de Andersson (1990, p. 55-57) clasifica en cinco apartados las interpretaciones de los alumnos en cuanto a la reacción química, sin que hagan uso del esquema de partículas:

- a) **Desaparición.** Las sustancias pueden desaparecer durante un proceso. Algunos alumnos piensan, por ejemplo, que la gasolina que se quema en un motor desaparece, convirtiéndose sólo una pequeña porción en los gases del escape.
- b) **Desplazamiento.** Las sustancias aparecen o desaparecen porque son desplazadas (este concepto parte del de desplazamiento físico). Una forma en la que desaparecen los reactivos de una reacción química es porque se desplazan hacia alguna otra parte.
- c) **Modificación.** Significa que una sustancia puede retener su identidad mientras que algunas de sus propiedades sí cambian. Puede haber modificación de identidad, si la sustancia modifica las apariencias pero continúa siendo la misma, y de cantidad, si la sustancia sigue siendo la misma pero en cantidades distintas. Ésta es una manera en la que los estudiantes interpretan las reacciones químicas [por ejemplo, dicen Krnel, Watson y Glazar (1998) que los alumnos conciben que el gas sobre un mechero es el mismo que entró por la parte baja del mismo].
- d) **Trasmutación.** Esta categoría contempla unas transformaciones “prohibidas” para la química, como lo son la transformación de materia en energía o de energía en materia, o de una sustancia (hierro, por ejemplo) que transmuta en otra (al oxidarse el hierro dicen que se convierte en carbón). Mortimer y Miranda (1995, p. 23) encuentran que se piensa que la madera quemada se transmuta en carbón, ceniza y energía.
- e) **Interacción química.** Es el conjunto de contestaciones que sí emplean razonamientos químicos básicos.

Otra posible interpretación de los alumnos es una que mencionan Mortimer y Miranda (1995, p. 24): el animismo. Éste consiste en atribuir comportamientos típicos de los seres vivos a las sustancias. La transformación química es vista muchas veces como

Tabla 7. Explicaciones de los alumnos de tres reacciones de óxido-reducción de Hesse y Anderson.

1. $4 \text{ Fe (s)} + 3 \text{ O}_2 \rightarrow 2 \text{ Fe}_2\text{O}_3 \text{ (s)}$

La oxidación implica la 'desaparición' del hierro. La herrumbre 'se come' al metal de la misma forma que cuando lo ataca un ácido fuerte o como un hongo microscópico se come a la comida. Entonces, si eliminas la herrumbre, lo que queda del clavo pesa menos que el clavo original limpio.

2. $2 \text{ Cu (s)} + \text{ O}_2 \rightarrow 2 \text{ CuO (s)}$

Al calentar el cobre con el mechero logra que se quemara la capa exterior del cobre, la cual se pone negra. El cobre pesa menos después de eliminar la cubierta, porque parte del cobre se ha ido con el óxido.

3. $\text{ C (s)} + \text{ O}_2 \rightarrow 2 \text{ CO}_2 \text{ (g)}$

Cuando el carbón se quema, se consume... como si creciera y se volviera viejo... se agota y no tiene más las propiedades físicas y químicas que acostumbraba tener, porque fue quemado por la llama.

la realización de una cierta voluntad de la sustancia. Por ejemplo, una experiencia utilizada para demostrar que el oxígeno es consumido en la combustión consiste en poner una vela en un plato con un poco de agua. Al colocar un vaso volteado sobre la vela prendida, ésta se apaga al poco tiempo y el nivel de agua dentro del vaso sube. Los alumnos explican que *"el fuego jala agua del plato sobre el cual está el vaso volteado con la esperanza de encontrar oxígeno, pues dentro del vaso se ha acabado."*

Concepciones alternativas de alumnos que consideran la materia como corpuscular.

El concepto de la conservación de la masa en una reacción. La energía en la reacción química

- 1) Una investigación con 100 alumnos del bachillerato es la de Hesse y Anderson (1992, p. 297-298), en la cual se empleó un cuestionario escrito para que los estudiantes explicaran tres reacciones de oxidación-reducción. Éstas, acompañadas de frases que tienen que ver con la ocurrencia de la reacción, se presentan en la tabla 7.

Luego entrevistaron a 11 de los estudiantes, y llegaron a la conclusión de que la gran mayoría emplean materiales y energías comunes en su vida para explicar estas reacciones. Sólo uno de los once entrevistados fue capaz de explicar los fenómenos observados en términos de interacciones entre átomos y moléculas. La tercera parte de los entrevistados ignoraron la existencia, o al menos la naturaleza sustancial, de los gases que actúan como reactantes o productos de las reacciones. La mayor parte de ellos tam-

Tabla 8. Concepciones localizadas por Boo y Watson.

1. El rompimiento del enlace es exotérmico, la formación del enlace es endotérmica (23% 16-18 años)
2. El enlace iónico resulta en un par de iones o algún tipo de enlace covalente (44% para 16-17 años y 34% para 17-18 años)
3. El disolvente no participa para nada en la reacción (25% 16-17 años y 20% para 17-18 años)
4. Una reacción química ocurre debido a un agente causal (e.g. calor administrado, reactividad de una sustancia, diferente reactividad entre dos o más sustancias, o disolvente) 41% en ambos grupos.

bién falló en entender la naturaleza de la pérdida de masa explicada en las frases. Concluyen Hesse y Anderson que el aprendizaje del concepto de cambio químico es más complejo que lo que los profesores o los autores de libros de texto se imaginan. Algo similar obtiene Gómez Crespo (1992) de sus investigaciones sobre reacciones de combustión, lo mismo que Landau y Lastres (1996) con alumnos que ingresan a la universidad argentina, y de igual forma concluyen su trabajo Furió y Furió (2000).

- 2) Vázquez (1990), en un estudio con alumnos de 16 a 18 años de bachillerato, prueba que las concepciones alternativas identificadas no son dependientes del instrumento que se utilice para su localización. En este estudio se encontró que algunos alumnos piensan que los catalizadores se emplean para aumentar la velocidad de las reacciones (no para disminuirla) y también que elevando la temperatura se consigue siempre mayor eficiencia en todas las reacciones químicas.
- 3) Boo y Watson (2001) realizaron un estudio para encontrar las concepciones alternativas de estudiantes de 16 a 18 años con dos reacciones: magnesio con ácido clorhídrico diluido y la reacción de nitrato de plomo acuoso con cloruro de sodio acuoso. En este estudio detectaron cuatro concepciones alternativas (véase la tabla 8).
- 4) En Arizona (2001) se menciona que la energía relacionada con la reacción química es explicada con las concepciones alternativas mostradas en la tabla 9.

El concepto de sustancia como una limitante del aprendizaje

Ahtee y Varjola (1998) presentan un estudio en el que analizan las diferentes concepciones de estudiantes desde el 7° grado de enseñanza primaria hasta el

Tabla 9. Concepciones acerca de la variable energía en las reacciones químicas (Arizona, 2001).

1. La energía es creada en las reacciones químicas.
2. La energía es utilizada en las reacciones químicas.
3. Los enlaces químicos son almacenes de energía.
4. La energía que forma la gasolina no es realmente energía sino hasta que ésta se libera.
5. La energía es un reactivo que hay que añadir a la reacción.

primer año de química general universitaria, en relación con la reacción química. Presentan a los alumnos una definición de reacción química de un libro de texto y se pregunta qué tipo de cuestiones ocurren en una reacción química. Los autores llegan a la conclusión de que la mayoría de los alumnos tienen conflicto con el término ‘sustancia’, en particular tienen problema en relacionar las observaciones hechas sobre el mundo real con los conceptos teóricos requeridos en las explicaciones. Los alumnos confunden el término ‘sustancia’ con el término ‘molécula’. Así, contestan cuestiones como las presentadas en la tabla 10.

Esta cuestión ya había sido señalada por Selley (1978) como el error frecuente de confundir las sustancias con sus partículas moleculares, y ha sido recientemente mencionada por Azcona, Furió, Intxausti y Álvarez (2004) quienes señalaron cómo la falta de comprensión del término ‘sustancia’ es una limitante trascendente para el entendimiento del concepto de reacción.

Vogelezang (1987) también piensa que la noción de ‘sustancia’ debe enseñarse antes de que el alumno aprenda sobre los átomos y las moléculas, porque es un concepto más cercano a las propias experiencias estudiantiles. Cuando los alumnos tienden a pensar en la materia como un continuo, el término ‘sustancia’ está más cerca de ‘esta cosa’ (“this stuff” en el artículo) que los términos de partículas, como ‘átomo’ y ‘molécula’. Propone que se emplee la estrategia que plantean de Vosy Verdonk (1985a y b, 1986, 1987a y b) para que los estudiantes aprendan acerca de las reacciones, los átomos y las moléculas. Algu-

Tabla 10. Explicaciones de los alumnos sobre el término ‘sustancia’ al relacionarlo con observaciones en el mundo real (Athee y Varjola, 1998).

1. Las sustancias forman enlaces.
2. Las sustancias cambian los electrones externos entre ellas.

Tabla 11. Explicaciones sustancialistas de los alumnos documentadas por de Vos y Verdonk (1987a)

1. Hay moléculas frías y calientes
2. Un metal es un buen conductor porque cada átomo es un buen conductor

nas de las concepciones alternativas identificadas por estos autores sobre sustancialización de las moléculas y átomos se presentan en la tabla 11.

En la revista *Alambique* existe un número dedicado al cambio químico, en el que varios autores tocan el tema como uno central de la investigación en didáctica de la química. Martín del Pozo (1998), por ejemplo, aborda la construcción didáctica del término y apunta dos concepciones alternativas que resultan como verdaderos obstáculos del aprendizaje, tanto la ‘sustancialización’, que es “*el planteamiento del cambio químico como la transformación de las propiedades de las que son portadoras las sustancias, sin admitir un cambio en su identidad*”, como ‘el mecanicismo’, “*que explica las propiedades de las sustancias en función de una traslación de esas mismas propiedades al nivel microscópico, de manera que el cambio químico resulta ser consecuencia del cambio de forma, tamaño o movimiento de los átomos*”. En el mismo número de la revista, Solsona e Izquierdo (1998) revelan las dificultades de los alumnos de secundaria en aprender la conservación de los elementos en una reacción química mediante la realización de diversos experimentos de reacción.

Stavridou y Solomonidou (1998) entrevistan a jóvenes de 12, 14, 16 y 18 años sobre el concepto de reacción química y encuentran una alta proporción de ellos que piensan que una reacción siempre empieza con dos sustancias. Recomiendan trabajar en clase con ejemplos de reacciones que inician con una sola sustancia que se descompone. Indican que los alumnos construyen el concepto de ‘reacción química’ en tres etapas:

- 1) Relacionada con la fenomenología del cambio. La primera etapa, antes de recibir algún curso de química, los alumnos utilizan categorías semánticas de sentido común para la comprensión y organización del campo empírico de referencia.
- 2) Relativa al criterio químico macroscópico de definición. En esta etapa la reacción química se convierte poco a poco en la característica de que la(s) sustancia(s) inicial(es) se transforman en nueva(s) sustancia(s), o sea, con la formación de nuevos productos.

- 3) Relacionada con la estructura microscópica de la materia.

En este taller hemos procurado saltar de la primera a la tercera etapa, por lo que quizá convenga incluir algo más del criterio químico macroscópico en otras actividades.

Johnson (2000) concluye que los niños no poseen naturalmente la identidad del concepto de sustancia que los lleve a reconocer el cambio químico como una posibilidad.

Los cambios de estado como concepción alternativa del cambio químico

Ahtee y Varjola (1998) encuentran que alrededor de la quinta parte de los niños y jóvenes de su estudio concluyen que una disolución o un cambio de estado pueden caracterizarse como cambios químicos.

Kind (2004) cita a Schollum (1981) quien encuentra en Nueva Zelanda que más del 50% de los alumnos con 14 y 16 años consideran que la dilución de un jugo de fruta concentrado con agua es un cambio químico, lo mismo que la dilución del azúcar en agua.

Briggs y Holding (1986), en las conclusiones del proyecto *Children Learning in Science*, informan que en 23% de las respuestas sobre las condiciones visibles para establecer que ha sucedido un cambio químico se encuentra la de ver una fusión o una disolución.

Un primer alto en el camino

Andersson (1990, p. 71) encuentra que las representaciones diagramáticas con figuras geométricas llevan a que los alumnos piensen que existen átomos de diferentes formas y colores (i.e. circulares, triangulares, etc., rojos, azules, y así, un núcleo con una nube electrónica o bolas separadas por resortes). Piensan los alumnos que se trata de diferentes modelos utilizados con diferentes propósitos. Sin embargo, nos dice (p. 73) que “*hay que hacer énfasis en que es relativamente raro que los libros de texto simbolizen las reacciones químicas con sistemas de partículas, lo cual traería una imagen más certera de lo que sucede y un mejor entrenamiento en el razonamiento químico*”. Pensamos que éste es un reconocimiento al enfoque de los anexos de estos artículos.

En ocasiones se emplea una mezcla entre términos macroscópicos y microscópicos para definir una reacción química. Por ejemplo, Kind (2004) nos indica “*un cambio químico ocurre cuando los átomos (o iones) de los reactivos se re-arreglan para formar nuevas*

sustancias. A menudo los cambios químicos están acompañados por alteraciones en la apariencia física y/o el color, la producción de un gas, de luz de calor o de un efecto enfriante.”

No obstante, pensamos que la mejor manera de aproximar a los estudiantes de la secundaria al concepto de reacción química es con el empleo de modelos microscópicos, como los que desarrollamos en este taller cooperativo. A este respecto nos dicen Ahtee y Varjola (1998, p. 314-315) que “*sólo después que el concepto de átomo es introducido, se vuelve obvia la diferencia entre los cambios físicos y los químicos*”. Chastrette y Franco (1991) encuentran la misma conclusión para los alumnos del bachillerato, al igual que Johnson (2002).

Solsona, Izquierdo y De Jong (2003) presentan cuatro perfiles conceptuales al estilo de Mortimer (1995), obtenidos con un conjunto de 51 estudiantes entre 17 y 18 años, los cuales denominan:

- ‘Interactivo’ (con un balance adecuado entre los niveles macroscópico y microscópico de explicación);
- ‘Mecano’ (explicaciones sesgadas hacia el enfoque microscópico);
- ‘Cocina’ (discurso centrado alrededor del fenómeno macroscópico) e
- ‘Incoherente’ (el cambio químico no se explica y los ejemplos de cambio que se dan no están explicados).

Estos autores encontraron que tan sólo el 8% de los estudiantes presenta un perfil ‘Interactivo’. En este perfil se considera que el aprendiz ha asimilado el concepto científico. Un 58% de los alumnos presentó explicaciones a nivel macroscópico o a nivel microscópico (33% del perfil ‘Mecano’ y 25% del perfil ‘Cocina’, respectivamente) y un 33% no explicó coherentemente qué es una reacción química.

Conservación de la masa en sistemas de reacción abiertos y cerrados

Ramsden (1997) realizó un estudio donde aplica un cuestionario con varias situaciones a dos grupos: uno piloto y otro testigo. Pretendía probar que la enseñanza de la ciencia con un enfoque basado en el contexto (los conceptos científicos son presentados con base en la necesidad-de-conocer, como aparecen en contextos particulares) es más efectiva que uno basado en el esquema tradicional. Los autores obtuvieron muy poca diferencia en sus resultados con ambos enfoques. Mas su estudio identificó varias concepciones alternativas que se presentan en la tabla 12.

Tabla 12. Concepciones alternativas identificadas por Ramsden.

Explicaciones del burbujeo ocurrido en una tableta efervescente en agua.
1. El gas estaba atrapado en la tableta y al poner la tableta en agua el gas puede salir.
2. El gas estaba atrapado en la tableta. Cuando la tableta se disuelve, ésta reacciona para hacer el gas
3. Los gases estaban atrapados en el compuesto agua (se refieren al oxígeno) y éste se libera cuando reacciona con la tableta.
Explicaciones de qué le ocurre al peso total al hacer reaccionar una disolución de sulfato de sodio con una disolución de cloruro de bario.
1. Un sólido se forma y como las partículas en un sólido están más juntas, es más denso y por lo tanto más pesado.
2. Un sólido se forma, el cual tiene una mayor densidad que el líquido. Entonces pesará un poco más.
3. Un precipitado se ha formado, éste pesa más que los líquidos, los que disminuyen el peso.
4. Pesa menos porque parte del líquido se evapora.
5. Ellos reaccionan para formar un gas y éste escapa.

Barker (1999) encuentra concepciones alternativas similares y algunas más en la misma línea de las de Ramsden al realizar un estudio con 250 estudiantes del bachillerato en el que incluye sistemas abiertos y cerrados donde suceden reacciones químicas. En una de ellas se da una reacción de dos líquidos que forman un precipitado; en este caso se dan las concepciones alternativas informadas en la tabla 13.

En otra reacción, Barker coloca en un recipiente cerrado agua y una pieza de fósforo la cual se incendia al sacar al Sol el sistema de reacción. El producto de la combustión del fósforo se acaba disolviendo en el agua. Los resultados de las concepciones halladas por Barker se incluyen en la tabla 14.

Özmen y Ayas (2003) realizan en Turquía un estudio similar y encuentran que el 37% de los

Tabla 13. Respuestas estudiantiles a la reacción de precipitación de Barker.

1. La masa cambia porque un reactivo se agota.
2. La masa cambia porque sustancias extra están presentes.
3. La masa cambia porque nuevos enlaces se han formado.
4. La masa disminuye porque se ha formado un gas.
5. Nada cambia porque no ocurre ninguna reacción.

Tabla 14. Respuestas estudiantiles a la reacción del fósforo de Barker.

1. La energía es perdida o absorbida, por lo que la masa cambia.
La masa cambia porque:
2. el fósforo se disuelve.
3 los gases/líquidos pesan menos/más que el sólido.
4. el fósforo se agota.
5. el oxígeno está ahora incluido.

estudiantes explican que la masa se incrementa porque el gas se disuelve en el agua o que la masa decrece porque un gas es más ligero que un sólido o bien porque la masa disminuye al disolverse.

El concepto de mezcla como limitante para comprender el concepto de reacción

De acuerdo con Kind (2004) las diferencias entre elementos, compuestos y mezclas constituye la base para entender el concepto de reacción química.

Galagovsky y colaboradores (2003) construyen una experiencia práctica en la que sucede una reacción química [obtención de sulfuro de hierro(II)] si se lleva a cabo el calentamiento de una mezcla (de azufre y hierro). Insisten en la ocurrencia de una reacción, pues ya no es posible separar al hierro por medio de un imán. La mezcla se transformó en un nuevo compuesto por la presencia de una reacción.

Johnson (2000) menciona que los alumnos simplemente no aceptan la posibilidad de que unas sustancias cambien a otras. Concluye este autor que las ideas sobre partículas es el medio por el cual los alumnos llegan a reconocer el concepto de reacción química.

Eskilsson y Helldèn (2003) recomiendan que la enseñanza de la reacción química debe enfocarse en describir qué sucede cuando nuevas sustancias son formadas con respecto a las interacciones entre las sustancias, ya que en su estudio encuentran que un 70% de los estudiantes presentan explicaciones con interacciones entre las partículas de las sustancias, mientras que el 30% restante lo hace con una descripción demasiado básica.

Cambios físicos y cambios químicos

Gensler (1970) presenta argumentos que descalifican la clasificación de ‘cambios físicos’ y ‘cambios químicos’. Dice que no hay manera de garantizar que un cambio sea de un tipo o del otro, que no es

inteligente plantear la dicotomía. Incluye en su discusión las reacciones en las que un elemento se transforma en otra forma alotrópica (diamante en grafito, P_4 gaseoso en P_n polimérico negro), para las cuales hay quienes dicen que no se trata de reacciones químicas, pues no se da un cambio de sustancia, tenemos al final al mismo elemento, pero para él sí es una reacción química porque se afecta lo que siempre cambia en una reacción: los enlaces covalentes de las sustancias. A este respecto, en el mismo año aparece en la misma revista la opinión de Strong (1970) como un defensor de la idea de diferenciar cambios físicos y químicos. Hay mucho qué decir aún hoy acerca de la pertinencia de incorporar en la clase de química esta diferenciación (Palmer y Treagust, 1996; Borsese y Esteban, 1998; Brosnan, 1999; Taber 2002; Goodwin, 2003). Por ejemplo, Palmer y Treagust presentan cuatro hipótesis para explicar la longevidad de los conceptos ‘cambio físico’ y ‘cambio químico’ en los libros de texto de química:

- 1) Los conceptos son un recordatorio de la teoría aristotélica de la materia, retenida debido a la naturaleza conservadora de los científicos.
- 2) La oposición de ‘cambios físicos y químicos’ en los libros de texto es una estratagema pedagógica, de manera que los estudiantes puedan aprender otros conceptos relacionados.
- 3) Los conceptos son a menudo ilustrados por un número de excitantes e interesantes experimentos, lo que satisface a aquellos profesores que se consideran orientados hacia la parte práctica de la ciencia.
- 4) Los conceptos son un ardid utilizado por los químicos para definir la frontera entre la física y la química, buscando aventajar a la química, de tal forma que los jóvenes la escojan como asignatura, en lugar de la física.

Taber (2002, p. 99) nos dice que ‘cambio físico o químico’ no son categorías que existan obviamente en la naturaleza. “*Son los químicos quienes encuentran útil imponer estas categorías artificiales para caracterizar al amplio tipo de cambios que pueden ocurrir entre las sustancias [...] aunque sólo se espera que sirvan para juzgar ejemplos con respuestas claras, algunos de los cambios con los que se van a encontrar los alumnos no cazan fácilmente con una u otra categoría*”.

Tsaparlis (2003) utilizó 19 fenómenos para preguntar a 77 estudiantes del bachillerato y primer año universitario cuáles eran físicos y cuáles químicos. Los fenómenos eran de todos los días, como ‘hervir

un huevo’, ‘maduración de una manzana’, ‘hojas de un árbol que caen’, ‘un clavo oxidándose’, ‘jugo de limón actuando sobre un mármol’, etc. Encuentra que un buen número de los estudiantes (alrededor del 45%) no reconocen como fenómeno químico algunos en los que sí indican que hay una reacción química.

El alto final

Como hemos venido diciendo, también están relacionados con el concepto de reacción química muchos otros, como el de sustancia, y por lo tanto el de entidad elemental, y en ocasiones las concepciones alternativas dominantes en las interpretaciones estudiantiles son las que se refieren a los conceptos de elemento, compuesto y mezcla. El entramado epistemológico de estos conceptos en la matriz de la química es sumamente complejo, ya que unos son dependientes de los otros y viceversa. Por ejemplo, Schummer (2004) se pregunta si la química se encarga de estudiar cosas o procesos; es decir, estudia sustancias químicas o, más bien, reacciones químicas: “*¿Es una reacción química definida por el cambio de ciertas sustancias? O ¿Son las sustancias definidas por sus reacciones químicas características?*” (p. 3). Llega a una conclusión de compromiso entre los dos extremos, cuando dice “*He argumentado hacia un enfoque integrador que combina conceptualmente sustancias y procesos en una red de relaciones dinámicas, de tal forma que sustancias y reactividades se definen mutuamente una a la otra, tanto en el nivel experimental como en el teórico*”.

Como vemos, son una multitud los conceptos relacionados con el de reacción química y en todos ellos podemos emplear definiciones con características macroscópicas, microscópicas o mixtas. Algo de estos temas abordaremos en la tercera parte de este artículo.

Lo anterior hace más difícil para los alumnos el entendimiento, dado que deben aplicar con soltura diferentes definiciones para el mismo fenómeno (Nakhleh, 1992; Hinton y Nakhleh, 1999). Ésta es la razón de que hayamos presentado este segundo cuadernillo de aprendizaje cooperativo con centro en los conceptos microscópicos. Aunque ésta es también una limitación de nuestro enfoque, pues cojea de la interpretación macroscópica de las reacciones químicas, lo cual puede subsanarse aplicando las definiciones dadas por Nelson (2003).

Es la opinión de Mortimer y Miranda (1995) que conocer todas estas concepciones alternativas nos conduce a estrategias de enseñanza que son más

capaces de contribuir al cambio conceptual de los estudiantes. Los autores nos proponen llevar a cabo algunas reacciones simples en el salón de clases: la combustión de una vela en sistemas abiertos y cerrados, la formación de herrumbre en un metal, la reacción de formación del ioduro de plomo (de Vos y Verdonk, 1985a), la reacción entre ácido clorhídrico y la granalla de zinc en sistemas abiertos y cerrados o la disolución de un comprimido efervescente antiácido en agua. A continuación nos sugieren que los alumnos respondan varias preguntas alrededor de cada una de las reacciones, como “¿Qué sustancia o sustancias se transforman?” o “¿Por qué sucede la transformación?”, o bien “La masa de los sistemas antes de la transformación ¿es mayor, igual o menor que al final?”. Como vemos, sugieren una estrategia macroscópica para abordar el problema, con tal de que las representaciones estudiantiles coincidan con los fenómenos y con las explicaciones a nivel atómico y molecular.

Concluimos con la mención de que no sólo se tienen problemas para presentar el concepto de reacción química junto con todos sus alledaños Taber (2000) incluye en su escrito cómo algo que debe contemplar la enseñanza de las reacciones químicas son las razones de por qué éstas suceden. Llega a la conclusión de que ello no resulta simple. Por ejemplo, las explicaciones circulares en las que el concepto de reactividad es evocado no conducen a interpretaciones claras de por qué ocurren las reacciones, ni tampoco la evocación de la regla del octeto. Tampoco se contenta con las explicaciones de ‘la mínima energía’ o las relativas a la ‘fuerza de los enlaces’, o a los ‘mecanismos de las reacciones’. Concluye que las verdaderas explicaciones científicas (como las de la termodinámica o la mecánica cuántica) van a quedar lejos de la comprensión de los jóvenes.

Agradecimiento

Los autores chilenos desean agradecer al Fondo Nacional de Desarrollo Científico y Tecnológico por financiar parcialmente este trabajo a través de los proyectos 1020059 y 1980746.

Bibliografía

- Abraham, M. R., Williamson, V. M. y Westbrook, S. L., A Cross-Age Study of the Understanding of Five Chemistry Concepts, *J. Res. Sci. Teach.*, **31**(2), 147-165, 1994.
- Ahtee, M. y Varjola, I., Students’ understanding of chemical reaction, *Int. J. Sci. Educ.*, **20**(3), 305-316, 1998.
- Andersson, B., Pupils’ conceptions of matter and its transformations (age 12-16), *Studies in Science Education*, **18**, 53-85, 1990.
- Arizona State University, *Student Preconceptions and Misconceptions*

- in Chemistry, Ver. 1.35*, Arizona: Integrated Physics and Chemistry Modeling Workshop, 2001. El documento puede encontrarse en Internet en la siguiente URL: <http://www.daisley.net/hellevator/misconceptions/misconceptions.pdf>. Último acceso el 10 de mayo de 2005.
- Azcona, R., Furió, C., Intxausti, S. y Álvarez, A., ¿Es posible aprender los cambios químicos sin comprender qué es una sustancia? Importancia de los prerrequisitos, *Alambique*, **40**, 7-17, 2004.
- Barker, V., Students’ reasoning about chemical reactions: what changes occur during a context-based post-16 chemistry course?, *Int. J. Sci. Educ.*, **21**(6), 645-665, 1999.
- Ben-Zvi, R., Eylon, B. y Silberstein, J., Students’ visualization of a chemical reaction, *Educ. Chem.*, **24**, 117-120, 1987.
- Boo, H. K. y Watson, J.R., Progression in High School Students (aged 16-18) Conceptualizations about Chemical Reactions in Solution, *Sci. Educ.*, **85**, 568-585, 2001.
- Borsese, A. y Esteban, S., Los cambios de la materia, ¿Deben presentarse diferenciados en químicos y físicos?, *Alambique*, **17**, 85-92, 1998.
- BouJaoude, S. B., A Study of the Nature of Students’ Understandings About the Concept of Burning, *J. Res. Sci. Teach.*, **28**(8), 689-704, 1991.
- Briggs H. y Holding, B. *Aspects on Secondary Students understanding of elementary ideas in chemistry. Full Report*. Children Learning in Science Project. Leeds: University of Leeds. 1986.
- Brosnan, T. When is a chemical change not a chemical change, *Educ. Chem.*, **36**(2), 56, 1999.
- Chastrette, M. y Franco, M., La reacción química: Descripciones e interpretaciones de los alumnos de liceo, *Enseñanza de las Ciencias*, **9**(3), 243-247, 1991.
- De Jong, O., Athee, M., Goodwin, A., Hatzinkita, V. y Koulaidis, V., An international study of prospective teachers’ initial teaching conceptions and concerns: the case of teaching ‘combustion’, *Eur. J. Teach. Educ.*, **22**(1), 45-59, 1999.
- De Jong, O. y Van Driel, J., Exploring the development of student teachers’ PCK of the multiple meanings of chemistry topics, *Int. J. Sci. Math. Educ.*, **2**, 477-491, 2004.
- De Vos, W. y Verdonk, A. H., A new road to reactions. Part I, *J. Chem. Educ.*, **62**(3), 238-240, 1985a. Part II, *J. Chem. Educ.*, **62**(8), 648-649, 1985b. Part III. Teaching the Heat Effect of Reactions, *J. Chem. Educ.*, **63**(11), 972-974, 1986. Part IV. The substance and its molecules, *J. Chem. Educ.*, **64**(8), 692-694, 1987a. Part V. The elements and its atoms, *J. Chem. Educ.*, **64**(12), 1010-1013, 1987b.
- Driver, R., Beyond Appearances: The Conservation of Matter under Physical and Chemical Transformations, en Driver R., Guesne, E., Tieberghien, A. (editors), *Children’s ideas in science*, Filadelfia: Open University Press, Milton Keynes, 1985.
- Eskilsson, O. y Helldén, G., A longitudinal study in 10-12-year-olds’ conceptions of the transformations of matter, *Chemistry education: research and practice*, **4**(3), 291-304, 2003.
- Furió, C. y Furió, C., Dificultades conceptuales y epistemológicas en el aprendizaje de los procesos químicos, *Educ. Quím.*, **11**(3), 300-308, 2000.
- Gabel, D., Improving Teaching and Learning through Chemistry Education Research: A Look to the Future, *J. Chem. Educ.*, **76**(4), 548-554, 1999.
- Galagovsky, L. R., Rodríguez, M. A., Stamati, N. y Morales, L. F., Representaciones mentales, lenguajes y códigos en la enseñanza de ciencias naturales. Un ejemplo para el aprendizaje

- del concepto de "Reacción Química" a partir del concepto de "Mezcla", *Enseñanza de las Ciencias*, **21**(1), 107-121, 2003.
- Garnett, J. P., Garnett, J. P. y Hackling M. W., Students' Alternative conceptions in chemistry: A review of research and implications for teaching and learning, *Studies in Science Education*, **25**, 69-95, 1995.
- Gensler, W. J., Terminology reexamined. Physical versus chemical changes, *J. Chem. Educ.*, **47**(2), 154-155, 1970.
- Gómez Crespo, J. A., Pozo, J. I., Sanz, A. y Limón, M., La estructura de los conocimientos previos en Química: una propuesta de núcleos conceptuales, *Investigación en la Escuela*, **18**, 23-40, 1992.
- Goodwin, A., Questions that science teachers find difficult (II), *J. Sci. Educ.*, **4**(1) 40-41, 2003.
- Hesse III, J. J. y Anderson, C. W., Students' Conception of Chemical Change, *J. Res. Sci. Teach.*, **29**(3), 277-299, 1992.
- Hinton, M. E. y Nakhleh, M. B. Students' Microscopic, Macroscopic and Symbolic representations of Chemical Reactions, *The Chemical Educator*, **4**, 158-167, 1999.
- Johnson, P., Children's understanding of substances, part 1: recognizing chemical change, *Int. J. Sci. Educ.*, **22**(7), 719-737, 2000.
- Johnson, P., Children's understanding of substances, part 2: explaining chemical change, *Int. J. Sci. Educ.*, **24**(10), 1037-1054, 2002.
- Johnstone, A. H., Why is science difficult to learn? Things are seldom what they seem., *Journal of Computer Assisted Instruction*, **7**, 75-83, 1991.
- Justi, R. S., A afinidade entre as substâncias pode explicar as reações químicas?, *Química Nova na Escola*, **7**, 26-29, 1998.
- Kind, V., Más allá de las apariencias. Ideas previas de los estudiantes sobre conceptos básicos de química. México: Santillana/Facultad de Química, UNAM, 2004.
- Knel, D., Watson, R. y Glazar, S. A., Survey of research related to the development of the concept of 'matter', *Int. J. Sci. Educ.*, **20**(3), 257-289, 1998.
- Landau, L. y Lastres, L., Cambios Químicos y conservación de la masa... ¿Está todo claro?, *Enseñanza de las Ciencias*, **14**(2), 171-174, 1996.
- Magnusson, S., Krajcik, J. y Borko, H., Nature, sources, and development of pedagogical content knowledge. En J. Gess-Newsome & N.G. Lederman (Eds.), *Examining pedagogical content knowledge*. Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers. p. 95-132, 1999.
- Martín del Pozo, R., La construcción didáctica del concepto de cambio químico, *Alambique*, **17**, 65-75, 1998.
- Meheut, M., Saltiel, E. y Tiberghien, A., Pupils' (11-12 year olds) conceptions of combustión, *Eur. J. Sci. Educ.*, **7**, 83-93, 1985.
- Mortimer, E. F. y Miranda, L. C., Transformações: concepções dos estudantes sobre reações químicas, *Química Nova na Escola*, **2**, 23-26, 1995.
- Mortimer, E. F., Conceptual Change or Conceptual Profile Change?, *Sci. & Educ.*, **4**, 267-285, 1995.
- Nakhleh, M. B., Why Some Students Don't Learn Chemistry? Chemical Misconceptions, *J. Chem. Educ.*, **69**(3), 191-196, 1992.
- Nelson, P. G., Basic Chemical Concepts, *Chemistry education: research and practice*, **4**(1), 19-24, 2003.
- Novick, S. y Nussbaum, J., Junior High School Pupils' Understanding of the Particulate Nature of Matter: An Interview Study, *Sci. Educ.*, **623**, 273-281, 1978.
- Özmen, H. y Ayas A., Students' difficulties in understanding of the conservation of matter in open and closed-system chemical reactions, *Chemistry education: research and practice*, **4**(3), 279-290, 2003.
- Paixao, M. F. y Cachapuz, A., Mass conservations in chemical reactions: the development of an innovative teaching strategy based on the history and philosophy of science, *Chemistry Education: research and practice*, **1**(2), 201-215, 2000.
- Palmer, W. P. y Treagust, D. F., Physical and Chemical Change in Textbooks: An Initial View, *Res. Sci. Educ.*, **26**(1), 129-140, 1996.
- Ramsden, J. M., How does a context-based approach influence understanding of key chemical ideas at 16+?, *Int. J. Sci. Educ.*, **19**(6), 697-710, 1997.
- Schollum, B., *Chemical change: A working paper of the Learning in Science Project (no. 27)* University of Waikato, Hamilton, New Zealand, 1981.
- Schummer, J. Editorial. Substances versus Reactions. *HYLE-International Journal for the Philosophy of Chemistry*, **10**(1), 3-4, 2004.
- Selley, N. J., The confusion of molecular particles with substances, *Educ. Chem.*, **15**, 144-145, 1978.
- Solsona, N. e Izquierdo, M., La conservación del elemento, una idea inexistente en el alumnado de secundaria, *Alambique*, **17**, 76-84, 1998.
- Solsona, N., Izquierdo, M. y de Jong, O. Exploring the development of students' conceptual profiles of chemical change, *Int. J. Sci. Educ.*, **25**(1), 3-12, 2003.
- Stavridou, H. y Solomonidou, C., Conceptual reorganization and the construction of the chemical reaction concept during secondary education, *Int. J. Sci. Educ.*, **20**(2), 205-221, 1998.
- Strong, L. E., Differentiating physical and chemical changes, *J. Chem. Educ.*, **47**(10), 689-690, 1970.
- Taber, K. S., What should we tell the pupils about why reactions happen?, artículo electrónico que puede localizarse en la siguiente URL, que fue consultada el 9 de junio de 2004: <http://www.leeds.ac.uk/educol/documents/00001652.doc>, octubre 2000.
- Taber, K. S., Constructing chemical concepts in the classroom?: using research to inform practice, *Chemistry Education: Research and Practice*, **2**(1), 43-51, 2001.
- Taber, K. S., *Chemical misconceptions - prevention, diagnosis and cure*, London, Royal Society of Chemistry, 2002.
- Tsaparlis, G., Chemical phenomena versus chemical reactions: Do students make the connection? *Chemistry Education Research and Practice*, **4**(1), 31-43, 2003.
- Vázquez, A., Concepciones alternativas en física y química de bachillerato: una metodología diagnóstica, *Enseñanza de las Ciencias*, **8**(3), 151-158, 1990.
- Vogelezang, M. J., Development of the concept 'chemical substance'. Some thoughts and arguments, *Int. J. Sci. Educ.*, **7**(5), 519-528, 1987.
- Wandersee, J. H., Mintzes, J. J. y Novak, J. D., Research on Alternative Conceptions in Science. In D. Gabel (Ed.), *Handbook of Research on Science Teaching and Learning*, New York, Macmillan, p 177-210, 1994.
- Yarroch, W. L., Student Understanding of Chemical Equation Balancing, *J. Res. Sci. Teach.*, **22**, 449, 1985.

ANEXO

Cantidad de sustancia: el método para determinar las masas atómicas relativas de los elementos

Estimados alumnas y alumnos:

Les damos la bienvenida nuevamente y los volvemos a invitar a estudiar de una forma diferente. La unidad que estudiaremos, que forma parte del tema de 'Cantidad de sustancia', y que trata de la determinación de las masas atómicas relativas de los elementos, se desarrollará considerando a la sala de clases como un verdadero taller donde los protagonistas son todos y cada uno de ustedes.

Vamos a empezar por la actividad 1, en la que les pedimos que hagan un alto en el camino para evaluar cómo lo han ido haciendo en el camino del aprendizaje cooperativo.

ACTIVIDAD 1

Se trata de que reflexionen cómo han venido funcionando con el cuadernillo anterior. La retroalimentación es una manera de mejorar el funcionamiento de los equipos. Cada miembro del equipo debe generar una respuesta a cada una de las siguientes cuatro preguntas:

1. Para operar como un equipo eficiente necesitamos continuar con las siguientes cosas;
2. Para operar como un equipo más eficiente necesitamos iniciar las siguientes cosas;
3. Para operar como un equipo más eficiente necesitamos dejar de hacer las siguientes cosas;
4. Para llevar a cabo estas acciones aquí está lo que vamos a hacer (¿Cuál será la estrategia para abordar las cuestiones mencionadas en las primeras tres respuestas?):

Después de contestar individualmente estas cuatro preguntas van a intentar llegar a las cuatro respuestas aceptadas por todos los miembros del grupo, mediante la discusión y el análisis colectivo. Debe recordarse a los miembros del equipo que construir un equipo eficiente es un propósito no estático, sino un proceso dinámico, que requiere vigilancia y esfuerzo.

Introducción

Dalton calculó las masas atómicas de varios elementos a partir de datos experimentales que obtuvo al hacerlos reac-

cionar entre ellos. De esta manera, determinó que los elementos hidrógeno y oxígeno, cuando reaccionan para formar agua, lo hacen aproximadamente en la proporción:

$$\text{masa hidrógeno/masa oxígeno} = 1/8$$

PREGUNTA 1.

¿Qué masa mínima de hidrógeno y oxígeno se necesita hacer reaccionar para obtener 27 g de agua? Incluyan sus cálculos.

La información que Dalton obtuvo en el laboratorio de las masas con que se combinan los elementos la complementó con la proporción en átomos con que reaccionan dichos elementos. A principios del siglo XIX esta proporción no se conocía con seguridad por lo que Dalton hubo de suponerla, cometiendo algunos errores. A pesar de lo anterior el método es riguroso y se utilizó hasta principios del siglo XX en la determinación de las masas atómicas de los elementos.

Aplicando el método de Dalton determinaremos las masas atómicas relativas de los elementos ficticios Puntiaudio, Redondio, Verdoso y Celestio. Los átomos de estos elementos se representarán por clips que se diferencian por su forma, tamaño o color

1. Reacción de los elementos puntiaudio y redondio

Descripción del procedimiento

A un ayudante se le entregaron cajas con clips diferentes y una balanza electrónica que entrega la décima de gramo. Su tarea es aportar información cuyo análisis nos permita determinar la masa de cada tipo de clip.

Supondremos que todos los clips de un mismo tipo son iguales y por lo tanto tienen la misma masa.

El ayudante tomó porciones de clips diferentes y procedió a asociarlos siguiendo instrucciones que desconocemos, pero que pueden ser inferidas de los datos recogidos, los cuales tendremos la oportunidad de analizar.

El ayudante determinó la masa de las porciones de clips antes de asociarse y una vez asociados.

Los datos obtenidos por el ayudante se presentan en la tabla 1.

Tabla 1. Datos de la reacción de puntiagudo y redondio.

"Elemento"	Símbolo	Masa de la porción/g	Proporción "Atómica" en el compuesto	Masa del "compuesto" formado/g
PUNTIAGUDIO	P	14,0	P/R = 1	85,0
REDONDIO	R	71,0		

PREGUNTA 2.

Evalúen las siguientes conclusiones con respecto a la reacción en estudio:

Conclusión	Evaluación Verdadera/Falsa	Justificación
La "reacción" viola la ley de conservación de la masa.		
En las porciones utilizadas hay más átomos del elemento Redondio que del elemento Puntiagudio.		
En las porciones utilizadas hay más átomos del elemento Puntiagudio que del elemento Redondio.		
En las porciones utilizadas hay el mismo número de átomos de ambos elementos.		

PREGUNTA 3.

En la tabla siguiente se muestran varias ecuaciones para representar la reacción en estudio.

Completen la tabla e indiquen, con base en la información dada, la o las ecuaciones que podrían representar la reacción entre los elementos P y R.

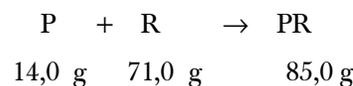
Se desconoce la naturaleza del compuesto formado en esta "reacción". Podría corresponder a un compuesto molecular o a uno de "estructura gigante".

Ecuación	Representación a escala atómica de la ecuación	¿Es la ecuación adecuada? (justifiquen la respuesta)	
	Átomo P = ▲ Átomo R = ●	Sí	No
a. $2 P + R_2 \rightarrow 2 (PR)$			
b. $P + R \rightarrow PR$			
c. $P + 2R \rightarrow (PR_2)$			
d. $P_2 + 2R \rightarrow 2 (PR)$			
e. $P_2 + R_2 \rightarrow (P_2R_2)$			
f. $4 P + 3 R \rightarrow 3 (PR) + P$			

Nota: Siendo las ecuaciones a, b, d y e adecuadas para representar la reacción en estudio, a falta de información de la naturaleza de los elementos P y R y del compuesto formado, después del trabajo de los grupos se escogió la ecuación **b** para representar a la reacción en estudio ya que es la más simple y describe lo esencial de la reacción:



Volviendo a la tabla 1, la información que se tiene de la reacción en estudio puede resumirse como sigue:



PREGUNTA 4.

Evalúen la siguiente proposición:

En la reacción en estudio se cumple la igualdad:

$$\frac{\text{Número de átomos de R en } 71,0\text{g}}{\text{Número de átomos de P en } 14,0\text{g}} = 1$$

PREGUNTA 5.

¿Cuál de los dos átomos (P o R) tiene mayor masa? Justifiquen su respuesta.

PREGUNTA 6.

En la expresión siguiente,

$$\frac{\text{Masa utilizada de R}}{\text{Masa utilizada de P}} = \frac{71,0\text{g}}{14,0\text{g}} = 5,1$$

¿Cuál o cuáles de las siguientes interpretaciones del valor **5,1** es o son correctas?

6.1 Por cada **5,1** átomos de **R** hay **1,0** átomo de **P**

6.2 La masa de N átomos de **R** es **5,1** veces mayor que la masa de N átomos de **P**.

6.3 La masa de **1** átomo de **R** es **5,1** veces mayor que la masa de **1** átomo de **P**.

Síntesis

La información de la reacción entre los “elementos” P y R permite deducir o verificar que:

- El número de “átomos” de P y R que hay en 71,0 g de R y en 14,0 g de P no se conoce.
- En 71,0 g de R y en 14,0 g de P hay el mismo número de “átomos”.
- El “átomo” de R tiene más masa (es más “pesado”) que el átomo de P.
- “N” átomos de R tienen 5,1 veces más masa que “N” átomos de P.
- 1 átomo de R tiene 5,1 veces más masa que 1 átomo de P.

PREGUNTA 7.

7.1 Si se fija el valor 1 para la masa del átomo de P, ¿cuál será la masa que le corresponderá al átomo de R?

7.2 Si se fija el valor 2 para la masa del átomo de P, ¿cuál será la masa que le corresponderá al átomo de R?

7.3 Si se fija el valor 1 para la masa del átomo de R, ¿cuál será la masa que le corresponderá al átomo de P?

PREGUNTA 8.

¿Qué fórmula o relación ocuparon para determinar las masas de ambos elementos en la pregunta anterior?

Información

Las masas anteriores se llaman **masas atómicas relativas** pues se determinan comparando las masas de un mismo número de átomos. En el caso estudiado sólo puede determinarse que la masa del átomo del elemento R es 5,1 veces mayor que la masa del átomo del elemento P

Para indicar las masas atómicas relativas usaremos la expresión A_r , de esta manera las masa atómicas relativas de los elementos P y R se indicarán como: $A_r(P) = 1$ y $A_r(R) = 5,1$ respectivamente.

La información entregada no permite determinar la **masa** de cada uno de los átomos de estos elementos, expresada a través de un número acompañado de una unidad de medida como por ejemplo el gramo (g).

PREGUNTA 9.

Los valores de las masas atómicas relativas dependen del elemento de referencia que se seleccione y del valor que se le asigne.

Si a los elementos P y R les asignamos las masas atómicas que indica la tabla siguiente, completen la información faltante en cada caso.

Caso		1	2	3	4	5	6
Masa Atómica Relativa	P	30,0		10,0		40,0	
	R		51,0		25,0		40,0

PREGUNTA 10.

Si se nos informa que una muestra con 14,0 g de P y 71,0 g de R reacciona para dar 85,0 g de PR, y que el número de átomos en las porciones utilizadas de P y R es 1×10^{20} , calculen la masa en gramos de 1 átomo de los elementos P y

Masa del átomo de P = _____

Masa del átomo de R = _____

A esta masa la llamaremos **masa atómica**. Comprueben que sus unidades son: g/átomo

PREGUNTA 11.

Demuestren que en 1,0 g de P y en 5,1 g de R hay el mismo número de átomos. Incluyan sus cálculos o razonamiento.

SÍNTESIS

- El método descrito permite determinar la masa de un átomo de un elemento en relación a la masa de otro. A esta masa se le llama MASA ATÓMICA RELATIVA (A_r) pues su valor indica el número de veces que el átomo de un elemento tiene más o menos masa que el de otro. En

el caso estudiado vemos que el átomo del elemento Redondio tiene 5,1 veces más masa que la del elemento Puntigudio.

- Para determinar esta masa se comparan porciones de elementos cuyas masas se conocen y que contienen un número desconocido pero igual de átomos. Veremos en otras preguntas que lo que importa saber es la proporción de los átomos de una especie con relación a los de otra.
- La MASA ATÓMICA RELATIVA, A_r , se expresa con un número sin unidad de medida (número adimensional).
- La masa “absoluta” de un átomo se indica a través de un número acompañado por una unidad de medida. Ejemplo: la masa atómica del elemento sodio expresada en gramos es $3,8 \times 10^{-23}$ g. Para determinar esta masa se necesita conocer el número de átomos que hay en una porción del elemento de masa conocida.

En el caso que se estudia, sólo puede afirmarse que:

LA MASA ATÓMICA DEL ELEMENTO REDONDIO ES 5,1 VECES MAYOR QUE LA MASA ATÓMICA DEL ELEMENTO PUNTIAGUDIO. ESTO SIGNIFICA QUE LAS MASAS ATÓMICAS RELATIVAS DE LOS ELEMENTOS REDONDIO Y PUNTIAGUDIO SON RESPECTIVAMENTE $A_r(R)=5,1$ y $A_r(P)=1$

Por lo tanto,

SI AL ELEMENTO P LE ASIGNAMOS EL VALOR 1,0 PARA SU MASA ATÓMICA, ENTONCES A LA MASA ATÓMICA DEL ELEMENTO R LE CORRESPONDE EL VALOR 5,1. POR LO TANTO, DOS MUESTRAS DE R Y P CON UN COCIENTE DE MASAS DE 5,1 CUENTAN CON EL MISMO NÚMERO DE ÁTOMOS.

2. REACCIÓN DE LOS ELEMENTOS REDONDIO Y VERDOSIO

Con el propósito de conocer la masa atómica del elemento Redondio (R) con respecto a la masa atómica del elemento Verdoso (V) se los hizo “reaccionar”, obteniéndose los siguientes datos:

Elemento	Símbolo	Masa de la porción/g	Proporción “Atómica” V/R en el compuesto	Masa del “compuesto” formado/g
VERDOSIO	V	40,1	1/2	111,1
REDONDIO	R	71,0		

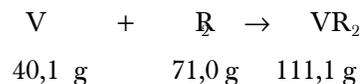
PREGUNTA 12.

En la tabla siguiente se muestran varias ecuaciones para representar la reacción en estudio.

Indiquen, con base en la información dada, la o las ecuaciones que representan adecuadamente la reacción entre los elementos V y R.

Ecuación	Representación a escala atómica de la ecuación Átomo V =  Átomo R = 	¿Es la ecuación adecuada? (justifiquen)	
		Sí	No
a) $5V + 10 R \rightarrow 5V10 R$			
b) $2V_2 + R_2 \rightarrow 2 (V_2R)$			
c) $V + R_2 \rightarrow VR_2$			
d) $3V + 9 R \rightarrow 3 (VR_3)$			
e) $V_2 + R_2 \rightarrow 2(VR_2)$			
f) $V + 2 R \rightarrow VR_2$			

Nota: Se escogió la ecuación que se indica a continuación, pudiéndose usar cualquiera de las correctas (c, f) presentadas en la tabla anterior.



PREGUNTA 13.

Evalúen la siguiente afirmación:

“En 71,0 g de R hay el doble de átomos que en 40,1 g de V.

PREGUNTA 14.

¿Cuál de los dos átomos (V o R) tiene mayor masa atómica? Justifiquen su respuesta.

PREGUNTA 15.

Se han propuesto tres ecuaciones para calcular las masas atómicas relativas de los elementos R y V. ¿Cuál es la correcta?

$$\begin{array}{l}
 \text{Masa atómica V} = \text{Masa atómica R} \times 3,5 \\
 \text{Masa atómica V} = \text{Masa atómica R} \times 1,13 \\
 \text{Masa atómica V} = \text{Masa atómica R} \times 0,6
 \end{array}$$

PREGUNTA 16.

Propongan las masas atómicas relativas de los elementos V y R.

Nota: Se sugiere asignar el valor 1,0 a la masa atómica del elemento más liviano.

En las actividades anteriores hemos determinado la masa atómica relativa del elemento Puntigudio con respecto al elemento Redondio y de este último con respecto al elemento Verdoso.

La información reunida permite señalar que:

Si la masa atómica de P = 1,0 entonces la masa atómica de R = 5,1

Simbólicamente: Si $A_r(P) = 1$ entonces $A_r(R) = 5,1$

Si la masa atómica de R = 1,0 entonces la masa atómica de V = 1,1.

Simbólicamente, si $A_r(R) = 1$ entonces $A_r(V) = 1,13$

PREGUNTA 17.

Ordenen los elementos en orden creciente de su masa atómica. Incluyan cálculos o razonamiento.

PREGUNTA 18.

Si al elemento más liviano se le asigna masa atómica 1, ¿qué valor de masa atómica le corresponde a cada uno de los elementos restantes?

PREGUNTA 18.1

Demuestren que en las siguientes porciones: 1,0 g de P; 5,1 g de R y 5,7 g de V hay el mismo número de átomos.

3. REACCIÓN DE LOS ELEMENTOS VERDOSIO Y CELESTIO

Para determinar la masa atómica relativa del elemento Verdoso (V) con respecto al elemento Celestio (C) “se los hizo reaccionar” obteniéndose los siguientes datos:

Elemento	Símbolo	Masa de la porción /g	Proporción “Atómica” V/C en el compuesto	Masa del compuesto formado/g
Verdoso	V	120,3	3/2	148,3
Celestio	C	28,0		

PREGUNTA 19.

Propongan dos ecuaciones que representen adecuadamente la reacción en estudio.

PREGUNTA 20.

Determinen las masas atómicas relativas de los elementos V y C, tomando como base la masa atómica de P como 1,0.

PREGUNTA 21.

Considerando la información obtenida de las masas atómicas relativas de los elementos Puntigudio, Redondio, Verdoso y Celestio, ordénenlos en forma creciente de sus masas atómicas relativas. Incluyan sus cálculos o razonamiento.

PREGUNTA 22.

Si al elemento más liviano se le asigna masa atómica 1, ¿qué valor de masa atómica le corresponde a cada uno de los elementos restantes?

PREGUNTA 23.

Demuestren que en las siguientes porciones debe haber el mismo número de átomos:

1,0 g de P 2,0 g de C 5,1 g de R 5,7 g de V

PREGUNTA 24.

Ahora ya saben que dos elementos cuando reaccionan entre sí lo hacen en determinadas proporciones atómicas. Es decir, un conjunto de átomos reaccionará con otro conjunto de átomos; si recuerdan, en el cuadernillo anterior reconocimos a este ‘conjunto de átomos’ como la magnitud *número de entidades elementales* (N).

En este cuadernillo revisamos cómo es la relación en masa con que se combinan las sustancias.

En función de lo revisado hasta ahora en ambos cuadernillos, propongan una ecuación matemática que represente los factores de que depende la mayor o menor proporción en masa con que se combinan las sustancias $[m_P/m_R]$. Las variables que deben emplear en la fórmula son los números de átomos que hay en la fórmula del compuesto N_P y N_R , así como las masas relativas $A_r(P)$ y $A_r(R)$. Tomen como ejemplo

la reacción entre los elementos Puntigudio (P) y Redondio (R) de la pregunta 3.

SÍNTESIS

Para determinar las masas atómicas relativas de los elementos usando el método de Dalton se necesita:

- Plantear la ecuación de la reacción entre los elementos.
- Conocer las masas en que se combinan esos elementos.
- Comparar masas que presenten el mismo número de átomos.
- Escoger un elemento de referencia, asignarle un valor a su masa atómica y expresar el resto de las masas atómicas en función de ese elemento. (Dalton le asignó el valor 1 a la masa atómica del elemento hidrógeno por ser el más ligero.)

Conclusión importante

Si se ha determinado que la masa atómica del elemento **W** es tres veces mayor que la masa atómica del elemento **Z**, podemos proponer que si la masa atómica relativa de **Z** = 1 entonces la masa atómica relativa de **W** = 3, y además se puede afirmar que:

- En 1 gramo de **Z** y en 3 gramos de **W** hay el mismo número de átomos.
- En 1 kilogramo de **Z** y en 3 kilogramos de **W** hay el mismo número de átomos
- En **a** unidades de masa de **Z** y en **3a** unidades de masa de **W** hay el mismo número de átomos.