

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 I. El aprendizaje cooperativo.

Anexo: cuadernillo 'La reacción química y su representación'

*Emilio Balocchi<sup>1</sup>, Brenda Modak<sup>1</sup>, Manuel Martínez-M.<sup>1</sup>, Kira Padilla<sup>2</sup>, Flor Reyes-C<sup>2</sup> y Andoni Garritz<sup>2</sup>*

### **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 'elementary entity' and '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, after introducing the topic of cooperative learning, the booklet is initiated in the appendix; its first part includes the representation of chemical reactions by means of equations. To facilitate the comprehension of a microscopic view of reactions, the topic is illustrated with metal clips or other diagrammatic representations for the elements participating. The topics of 'elements and compounds' and 'empirical and molecular formulas' are also introduced.

The second part of the paper will start with the series of alternative conceptions that has been reported for a 'chemical reaction' and then the second part of the booklet in its appendix, which will de-

velop the topic of 'relative atomic masses' of the elements. With this objective in mind, students must relate macroscopic and microscopic information of a reaction between two elements, knowing the atomic proportion in which their atoms react.

Finally, the third part of the paper will start with the concept of 'elementary entity' and then to that of 'amount of substance' and its unit, 'the mole' and the third part of the booklet in the appendix contains the calculation of relative masses of the elements, introduces the presence of isotopes in real samples and the concept of elemental entity, presents the Avogadro's number as the number of atoms in one mole and arrives to the development of basic stoichiometric calculations.

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**

Dos cabezas son mejores que una  
*Thomas Heywood, 1633*

Sin duda, hoy día existen muchas indicaciones que apuntan a la necesidad, por parte de los industriales, de contratar personas experimentadas en la resolución de problemas en equipo. Trabajar en equipos multidisciplinarios, que cruzan los departamentos de las empresas, se ha vuelto algo prevalente. La ciencia moderna, en el ambiente académico, también requiere crecientemente de equipos de personas trabajando juntos para resolver problemas con efectividad (Mehta, 2004). Por ello resulta creciente el interés en el aprendizaje cooperativo, una técnica que tiene más de veinte años de haber sido propuesta, pero que va tomando cada día mayor importancia.

<sup>1</sup> Universidad de Santiago de Chile. Facultad de Química y Biología.

Correo electrónico: ebalocch@lauca.usach.cl

<sup>2</sup> Universidad Nacional Autónoma de México Facultad de Química, 04510 México, D.F.

Recibido: 30 de marzo de 2004; aceptado: 30 de abril de 2005.

Mucho se ha escrito sobre aprendizaje cooperativo. Por una parte, existen los autores que se centran en la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias (Slavin, 1990; Sharan, 1994), mientras que muchos otros textos se ocupan del *trabajo en grupo* como una estrategia esencial para la socialización educativa (Coppock y Nath-Dwivedi, 1998; Toseland y Rivas, 1997).

Slavin (1990) nos presenta la razón fundamental para realizar trabajo en grupo y aprendizaje cooperativo como parte del espíritu humano. Sin embargo menciona que en la escuela muchas veces el aprendizaje en grupo sucede con una colección de niños sentados juntos, pero que realizan acciones individuales:

“¿Por qué los humanos hemos sido tan exitosos como especie? No somos fuertes como los tigres, grandes como los elefantes, coloreados por protección como las lagartijas, o ligeros como las gacelas. Nosotros somos inteligentes, pero un ser humano inteligente, si se encuentra solo en la selva no sobrevive por mucho tiempo. Lo que nos ha hecho realmente unos animales exitosos es nuestra habilidad de aplicar nuestra inteligencia para cooperar con otros y alcanzar metas de grupo. A partir del grupo de cazadores primitivos hasta la mesa directiva de una corporación, los que tenemos éxito somos aquellos que podemos resolver problemas mientras trabajamos con otros.”

“A causa de que en las escuelas se socializa a los niños para que asuman papeles de adultos, y porque la cooperación es en mucho parte de la vida adulta, uno debe esperar que se haga énfasis en las escuelas sobre actividades cooperativas. Sin embargo, esto está lejos de ser cierto. Entre las más prominentes instituciones de nuestra sociedad, la escuela está poco caracterizada por desarrollar actividades cooperativas...”

La mayoría de los artículos que revisan la evaluación de la investigación en aprendizaje cooperativo encuentran que esta estrategia aplicada en el salón de clase conduce a mayores logros de aprendizaje, crecimiento en las actitudes positivas hacia el tema estudiado, más alta auto-estima, mejor aceptación de las diferencias existentes entre pares y elevado desarrollo conceptual en una amplia gama de situaciones y a lo largo de áreas diversas de contenido (Cohen, 1994; Qin, Johnson y Johnson, 1995).

### Generalidades sobre aprendizaje cooperativo

Nurrenbern y Robinson (1997) presentan una bibliografía sobre este tema en el *Journal of Chemical Educatio* que reúne libros y artículos en este tópico, tanto de ésta como de otras revistas. Se citan en esta bibliografía las referencias más importantes sobre el tema hasta ese año. Igualmente interesante es el artículo de Bowen (2000), en el cual realiza un meta-análisis<sup>1</sup> que desemboca en ilustrar la potencia de esta técnica para informar sobre los efectos cuantitativos del aprendizaje cooperativo y acerca de su éxito en química del bachillerato y de la universidad.

Melanie Cooper (1995) nos presenta una definición de aprendizaje cooperativo: “Es una técnica instruccional por la cual los estudiantes trabajan juntos en pequeños grupos fijos sobre una tarea especialmente estructurada”. Nos presenta un enfoque hacia cursos con muchos alumnos y algunas de las ventajas del aprendizaje cooperativo, tales como:

1. Los estudiantes toman responsabilidad de su propio aprendizaje y se vuelven activamente comprometidos.
2. Los estudiantes desarrollan habilidades de pensamiento de alto nivel.
3. Se incrementa la retención estudiantil.
4. Se incrementa la satisfacción con la experiencia de aprendizaje y promueve actitudes positivas hacia el tema de la clase.

Barbosa y Jófili (2004) nos indican que “los métodos de aprendizaje cooperativo son importantes tanto para facilitar el proceso de enseñanza-aprendizaje, como para preparar a la gente a trabajar en equipos comprometidos con los valores sociales y los principios de la solidaridad”.

Johnson y Johnson (1999) comparan el aprendizaje competitivo, cooperativo e individualista, intentando sacar partido de los provechos de estos tres

<sup>1</sup> El meta-análisis es una aproximación cuantitativa para revisar la literatura de investigación en un área específica. En investigación educativa, los muchos factores que varían de un contexto de enseñanza a otro, hacen difícil diseñar experimentos definitivos para determinar la extensión para la cual una dada aproximación educativa afecta una dada respuesta estudiantil. El meta-análisis combina un cierto número de estudios para cuantificar el efecto que una aproximación instruccional tiene sobre ciertos resultados. Mediante la ampliación de los datos fuente, para incluir diferentes contextos y ampliar el tamaño de la muestra, puede llevarse a cabo un mejor estimado cuantitativo de cómo una práctica educativa afecta los resultados de los alumnos.

enfoques. Nos los definen conjuntamente, al decir que el profesor puede estructurar sus lecciones de tal forma que los estudiantes:

1. Se envuelvan en una lucha de perder-ganar hasta ver quién es mejor en completar la tarea (competitivo).
2. Trabajen independientemente hasta completar la tarea (individualista).
3. Trabajen juntos en pequeños grupos, asegurando que todos los miembros completan la tarea (cooperativo).

Nos definen primero la *cooperación*, como “trabajar juntos para alcanzar metas compartidas” y el *aprendizaje cooperativo* como “el uso instruccional de grupos pequeños de tal manera que los estudiantes trabajen juntos para mejorar su propio aprendizaje y el de los otros”.

Hay que prestar especial atención a la etapa inicial de trabajo con el equipo, para que el profesor satisfaga las siguientes metas (Toseland y Rivas, 1997):

1. Facilitar que se conozcan los alumnos, si es reciente su integración al grupo.
2. Aclarar el propósito del trabajo en grupo, según sea éste percibido por el profesor, con la complementación de lo que piensen los alumnos al respecto.
3. Ayudar a los alumnos a sentirse parte del grupo. Facilitar la motivación en los miembros y la capacidad de laborar en equipo.
4. Insistir en que de nada sirve el trabajo si no se da la participación de todos.
5. Guiar el desarrollo del grupo.
6. Balancear las tareas y los aspectos socioemocivos del proceso de trabajo en el grupo.
7. Sentar frecuentemente las metas a alcanzar durante el trabajo.
8. Anticipar obstáculos para alcanzar las metas del grupo, así como las individuales.

Johnson y Johnson nos presentan la tabla 1 como un resumen de los aspectos de cooperación a considerar durante el desarrollo del trabajo en los equipos.

Herron (1996) habla del “Aprendizaje Cooperativo”, como una forma efectiva de promover el aprendizaje, que consiste en construir significados sobre la base de la interacción con el ambiente, incluidas particularmente las personas que se encuentran en él. La estructura del aprendizaje cooperativo difiere de la del aprendizaje tradicional. Los

estudiantes gastan más tiempo en las tareas de aprendizaje, aquellos menos capaces tienen más oportunidad de aprender de los más capaces, los estudiantes hablan más y se da una mayor repetición de las ideas. En un ambiente de aprendizaje cooperativo, también se da una mucha mayor posibilidad de recompensa hacia los alumnos, del reconocimiento de sus pares, debido a la mayor oportunidad que existe de compartir ideas que parecen estimular el aprendizaje del grupo.

Para construir modelos efectivos de aprendizaje, necesitamos entender que la exposición unidireccional del profesor debe tener límites, estar enterados de las diferencias en el entendimiento del alumnado acerca del material expuesto y conocer cómo interactuar con los estudiantes para que su construcción sea consistente con los conocimientos científicos. El acercamiento a la instrucción cooperativa generalmente implica que los profesores deben escuchar más y hablar menos, deben proveer mayores oportunidades para que los alumnos negocien el significado del aprendizaje entre ellos mismos.

En el aprendizaje cooperativo se da principalmente la estrategia que significa que algunos estudiantes enseñen a otros miembros del grupo. Cuando unos estudiantes explican algo a otros, éstos tratan de entender lo que están explicándoles y tratan de colocar juntas piezas de información, piensan diferente que cuando estudian solos. Usan estrategias elaborativas y metacognitivas más frecuentemente y utilizan un más alto nivel de razonamiento.

**Tabla 1.** Aspectos de la cooperación.

Meta	Los miembros de la clase son asignados a pequeños grupos (a menudo heterogéneos) e instruidos hacia: a) aprender el material asignado, y b) asegurar que todos los otros miembros del grupo hagan lo mismo.
Niveles de cooperación	La cooperación puede ser extendida a la clase (asegurando que todos en la clase hayan aprendido el material asignado) y los diferentes niveles de la escuela (asegurando que todos los estudiantes de la escuela progresan académicamente).
Patrón de interacción	Los estudiantes promueven el éxito de cada uno de los otros. Los estudiantes discuten los materiales con los otros miembros del equipo, explican cómo completar la tarea, escuchan las explicaciones de los otros, se motivan unos a otros a trabajar duro y se dan ayuda académica y asistencia. El patrón de interacción existe al interior de los grupos, pero también entre ellos.
Evaluación de resultados	Se emplea un sistema de criterios de referencia para evaluar el desempeño. El foco está usualmente en el aprendizaje y el progreso académico de los estudiantes individuales, pero también incluye al equipo como un todo, la clase y la escuela.

La controversia es una de las armas más preciadas en el aprendizaje cooperativo. La controversia generalmente incrementa el desarrollo cognitivo, pero mucho del beneficio depende de cómo se maneja. El resumen de la investigación de Johnson (1981) apunta que la controversia es más efectiva y la información es comunicada con mayor precisión y de forma más completa en un ambiente cooperativo frente a uno competitivo. La controversia es más beneficiosa si el desacuerdo se valúa y los participantes se sienten libres de expresar sus sentimientos, lo mismo que sus ideas. Igualmente, si los estudiantes son adiestrados a identificar similitudes y diferencias entre las posiciones, son más capaces de resumir, tienen más información relevante y habrán aprendido a estar de acuerdo con los desacuerdos, en lugar de en “acabar con el otro”, y entonces el aprendizaje cooperativo tendrá más éxito. Conforme el sentido común lo sugiere, mientras más heterogéneo sea el grupo, con mayor seguridad ocurrirán las controversias.

#### **Tamaño del equipo en el aprendizaje cooperativo**

En su capítulo 8 titulado “Enseñando a resolver problemas”, Herron (1996) indica que tanto por argumentos teóricos como por evidencia empírica resulta conveniente tener a los estudiantes en parejas o pequeños grupos resolviendo problemas. Dimant y Berison (1991) describen varios estudios usados por Piaget para identificar niveles de desarrollo intelectual, en los cuales los alumnos resuelven problemas en parejas. En interacciones en las cuales desacuerdos, contradicciones y soluciones contrapuestas fueron expresadas de una forma balanceada entre las parejas, la ganancia cognitiva fue más evidente que cuando tales interacciones estuvieron ausentes. De acuerdo con estos autores:

“Lo que es más revelador de los hallazgos ... es que no fueron cuántas tareas completaron las parejas ni qué tan difíciles fueron esos problemas, lo que contó para esa ganancia cognitiva individual, fue la interacción social de los sujetos, independientemente de si ellos fueron aparejados con individuos del mismo o de un nivel superior de competencia”.

Johnson y Johnson (1999, p. 19) nos indican que aunque los equipos del aprendizaje cooperativo típicamente caen en un tamaño entre dos y cuatro, “la regla básica de dedo es que mientras más pequeños, mejor”. Sin embargo, nos dicen, “no hay un tamaño

ideal para un grupo de aprendizaje cooperativo”, ya que éste debe depender de los límites de tiempo a los que está sujeto el aprendizaje, de la experiencia previa de los alumnos de su trabajo en equipos, de la edad de los alumnos y de la disponibilidad que se tenga de equipamientos y materiales. Nos dan las siguientes recomendaciones para establecer el tamaño del equipo.

1. La adición de un miembro al equipo implica que los recursos necesarios para tener éxito se incrementen.
2. Mientras menos sea el periodo de tiempo disponible, menor debe ser el tamaño del equipo.
3. Mientras sea menor el equipo, más difícil será para algunos alumnos esconderse y no contribuir al trabajo.
4. A mayor tamaño del equipo, más habilidosos tienen que ser los miembros del mismo.
5. Mientras sea mayor el equipo, menos interacciones habrá entre sus miembros.
6. Los materiales disponibles o la naturaleza específica de la tarea pueden dictar el tamaño de los equipos.
7. Mientras menor sea el equipo son más fáciles de identificar las dificultades que tienen los alumnos para trabajar juntos.

Sherman (1994) está de acuerdo en que el tamaño óptimo del grupo es de cuatro estudiantes, en el que deben combinarse un elemento de alta capacidad, dos con capacidad promedio y el último con baja capacidad, para que se maximice la enseñanza por pares y se refuerce el aprendizaje individual de cada miembro del equipo. Lo mismo piensan Johnson y Johnson (1999) con relación a la necesaria heterogeneidad de los equipos, aunque no hablan de diferentes capacidades de los estudiantes, sino diferentes antecedentes, habilidades, experiencias, intereses y perspectivas.

Sherman (1994) nos sugiere igualmente que resulta conveniente dar funciones a cada miembro del equipo, por ejemplo: el investigador principal, el recopilador de materiales, el elaborador de informes y el que expone. Este autor se refiere a la importancia de elaborar actividades que refuercen la cohesión del equipo y que se repartan a todos los grupos, como guía de la actividad durante la clase. Este tipo de actividades, como las representadas en el cuadernillo que se presenta como anexo de este artículo, tienden a unir el equipo y crean el punto de partida para la lección.

### Metodologías sobre aprendizaje cooperativo

Slavin (1994) nos habla de equipos con cuatro miembros en la metodología llamada STAD (por *Student Teams-Achievement Divisions*, algo así como *Equipos de estudiantes-logros individuales*), desarrollada colectivamente en la Universidad Johns Hopkins de Baltimore, Estados Unidos. Allí nos menciona que hay tres conceptos centrales en todos los métodos de aprendizaje en equipos de estudiantes: recompensas al equipo, responsabilidad individual y oportunidades iguales para el éxito. Deseamos remarcar aquí, para los profesores que se lancen en esta bella aventura del aprendizaje cooperativo, que la *responsabilidad individual* se refiere al hecho de que en todos los métodos de aprendizaje en equipos de estudiantes, se concibe que el éxito del equipo depende del grado de tal aprendizaje alcanzado por *todos* los miembros del mismo. Debido a ello, se enfoca la actividad de los miembros de los equipos en la tutoría de unos con otros, para asegurar que todos en el equipo están listos para un interrogatorio específico que se da individualmente a los estudiantes para que lo desarrollen sin la ayuda del equipo.

El método STAD está constituido por cinco componentes mayores: presentaciones de clase, trabajo en equipo, interrogatorio, mejoramiento individual de calificación y reconocimiento al equipo. El material de la clase es dado por el profesor en una o dos sesiones de presentación, a las cuales sigue la labor del equipo para preparar a todos sus miembros, por igual, mediante la tutoría colectiva, la búsqueda de información adicional y su discusión en equipo. A esta etapa sigue el interrogatorio individual. En función de los resultados obtenidos en este interrogatorio y sólo si la calificación individual de los miembros del equipo ha mejorado respecto al promedio obtenido hasta ese momento, se dan puntos adicionales a los individuos y al equipo. Finalmente, se reparten certificados y otras recompensas a los equipos, en función de su desempeño.

Otro de los métodos citados por Sherman (1994) es el de *Paired Partners: Think aloud (Compañeros aprendidos: pensar en voz alta)*, que se enfoca en la resolución de problemas y el razonamiento. En este caso, los grupos de cuatro miembros se dividen en dos parejas. En la pareja, un miembro aborda la resolución del problema pensando en voz alta y su compañero formula preguntas. Los papeles se intercambian al siguiente problema.

Barbosa y Jófili (2004) nos hablan de la *perspectiva del desarrollo*, basada en las teorías piagetiana y

vigotskiana, que considera que las tareas que promueven la interacción entre los alumnos mejoran el aprendizaje, al producir conflictos cognitivos y exponer a los alumnos a pensamientos de orden de complejidad alto. En esta técnica los grupos de estudio son constituidos heterogéneamente y son orientados a discutir algún asunto hasta llegar a un consenso. Estas autoras nos dicen que la perspectiva del desarrollo conviene emplearla en temas que exigen un nivel de competencia más elevado, como la formulación de hipótesis y la resolución de problemas.

Un método más en el aprendizaje cooperativo es el del rompecabezas o *Jigsaw*, en el cual se parte el contenido a estudiar en varias porciones. Cada porción es repasada a fondo en subgrupos del grupo original, que son los que trabajan con el aprendizaje cooperativo (Clarke, 1994). Después se reúne el grupo de origen y cada uno de los expositores de los subgrupos hace el trabajo de transmitir lo alcanzado sobre el subtema. Luego se lleva a cabo una sesión conjunta donde los alumnos repasan todo el contenido que debe haber sido aprendido por todos. Barbosa y Jófili (2004) nos indican que este método es bueno cuando el tema a estudiar es, por ejemplo, el de nomenclatura en química orgánica. Cada subgrupo escoge un grupo de hidrocarburos (alcanos, alquenos, alquinos, aromáticos y otros). Cuando se reúnen en el grupo original, cada vocero de cada tipo de hidrocarburo lanza preguntas para promover la discusión.

Se ha encontrado muy apropiado empezar la actividad cooperativa haciendo actividades para que cada elemento del equipo se conozca frente a los otros (Townes, 1998). Esta autora empieza por aplicar un cuestionario para conocer sus trayectorias, experiencia en aprendizaje cooperativo y actitudes hacia el trabajo en equipo. Inmediatamente les pide responder a estas cuatro preguntas como su primera actividad cooperativa:

- i) Numera tus responsabilidades con el equipo.
- ii) Pormenoriza las responsabilidades que el equipo tiene con cada uno de sus miembros.
- iii) Describe las ventajas de trabajar en equipo y
- iv) Especifica las desventajas de trabajar como un equipo.

Las respuestas de cada uno de los equipos se leen a la totalidad de la clase y se llega a acuerdos generales sobre cada una de las respuestas.

En un caso típico de resolución de problemas en equipo, se pide a los estudiantes trabajar en conjunto y compartir sus ideas acerca de lo que el problema

significa, cómo puede representarse y cómo apuntar hacia su solución (Herron, 1996). Después de que los grupos han trabajado durante 20 a 30 minutos, los resultados se comparten y discuten por toda la clase, en conjunto. Durante esta discusión se pide poner atención a las diversas estrategias que se proponen. El profesor debe enfocarse en el razonamiento y las estrategias utilizadas, en lugar de *en la respuesta correcta*. El profesor no debe corregir las respuestas incorrectas o indicar si una respuesta particular es correcta o no lo es. Más bien, los alumnos son orientados a desarrollar su propia forma de determinar cuándo un resultado es aceptado generalmente.

Cuando la tarea problemática es una para la cual el procedimiento estándar de solución es el normalmente utilizado por un experto, el procedimiento del experto puede ser introducido por el profesor después de la presentación de los estudiantes. No obstante, dicha presentación debe hacerse como *una forma más* de atacar el problema, más que como *el procedimiento que debe seguirse*. Si los alumnos entienden ese procedimiento y es de verdad más eficiente que los desarrollados por ellos, lo adoptarán. Por el contrario, si no entienden el procedimiento experto, insistir en él sería contraproducente.

### **Aprendizaje cooperativo y educación científica**

Deben encajarse dentro del marco de la cooperación las habilidades del proceso de la ciencia (Sherman, 1994). Las teorías científicas explican los fenómenos presentando una visión sistemática de los mismos. El proceso de la ciencia contempla un número de habilidades que los científicos emplean para construir sus teorías, las que deben formar parte del enfoque cooperativo de la clase de ciencia. El aprendizaje cooperativo debe considerarse como un marco para proveer a los alumnos de las técnicas de investigación en el salón de clase. Pongamos atención a los conjuntos de palabras marcados en cursivas en los párrafos siguientes. Es importante que el profesor guíe la discusión en la clase cooperativa científica en el trabajo con alguna de estas “palabras clave”.

Por ejemplo, los científicos empiezan por formular *preguntas de investigación* acerca de algún fenómeno en particular. Entonces identifican y observan las *variables* que serán examinadas y formulan conjeturas o proposiciones tentativas, llamadas *hipótesis*. Las hipótesis establecen relaciones entre variables y están basadas en el marco teórico que se ha desarrollado. El proceso científico consiste en la prueba de dichas hipótesis.

Los científicos realizan *observaciones* para describir el fenómeno bajo investigación. La *clasificación* considera el agrupamiento de observaciones dentro de categorías. Dispositivos de medida son empleados para llevar a cabo observaciones cuantitativas del fenómeno mediante el proceso de *medición*. La *comunicación* resulta ser esencial en ciencia, sea como datos, gráficas, tablas, informes y discusiones orales, a partir de los cuales se construyen modelos que describen el fenómeno investigado y se emplean para hacer *predicciones*. La búsqueda de *patrones o regularidades* conforme se interpretan los datos que han sido obtenidos es otra actividad crucial en ciencia. Con base en todo lo observado, los científicos presentan *conclusiones tentativas* o hacen *inferencias*. Finalmente, la *experimentación* es la base de todo el proceso de indagación. Ésta puede ser la base de una modificación del marco teórico y la formulación de nuevas hipótesis.

En el caso particular de la enseñanza de la química, existen una multitud de referencias que dan recomendaciones múltiples sobre el aprendizaje cooperativo en temas específicos de química general, laboratorios, química analítica, orgánica, inorgánica y fisicoquímica (Basili y Sanford, 1991; Bishop, 1995; Wright, 1996; Dougherty, 1997; Stout *et al.*, 1997; Kreke y Towns, 1998; Barbosa y Jófili, 2004).

### **Nuestro esquema de aprendizaje cooperativo**

La “estrategia cooperativa” desarrollada utiliza la sala de clases a modo de taller en donde los alumnos desarrollan su quehacer en grupos de cuatro integrantes como máximo. En nuestro caso, los grupos son formados por la profesora o profesor, de acuerdo con sus respuestas a un cuestionario inicial como el de Towns (1998), que versa sobre su capacidad académica, su origen étnico y su género, en la búsqueda de mezclar efectivamente la gran diversidad estudiantil en cada equipo, de modo que cada uno sea realmente heterogéneo.

Se les insiste a los alumnos al empezar las actividades que es la tarea del equipo preocuparse de que cada uno de sus integrantes alcance satisfactoriamente los objetivos de aprendizaje, es decir, la responsabilidad individual como la meta de cada grupo. Se alerta también a los alumnos de que trabajar en equipo no es fácil, que pueden producirse dificultades entre sus miembros. En todo caso, se les dice, es bueno que las haya pues forman parte de la vida real y nos dan la oportunidad de practicar el diálogo, la comprensión y la tolerancia.

Nuestro método cooperativo utiliza un medio escrito original (que llamamos “Cuadernillo”) para entregar el material de estudio y las actividades de aprendizaje. Su desarrollo sigue un enfoque constructivista del aprendizaje el cual sostiene que el conocimiento no se trasvasa intacto de la mente del profesor a la del estudiante sino que se va construyendo en esta última (Spencer, 1999). En concordancia con este concepto, en el cuadernillo se plantean interrogantes de demanda cognitiva apropiada, cuya solución exige el concurso de todos los integrantes del equipo, dando oportunidad al aprendizaje significativo y potenciando al mismo tiempo el trabajo grupal (Balocchi *et al.*, 2004).

El cuadernillo es personal y cuenta con una “Hoja de Respuestas” y otra de “Datos de Interés”.

Nos dicen Johnson y Johnson (1999) que los cuadernillos (o como ellos mismos los llaman *cooperative learning scripts*) son procedimientos cooperativos estándar preparados explícitamente para:

- a) conducir lecciones genéricas, repetitivas (tales como escribir informes o hacer presentaciones) o
- b) conducir rutinas en el salón de clase.

Una vez planeadas y conducidas varias veces las lecciones cooperativas llevadas a cabo con un cuadernillo se vuelven actividades automáticas en el salón.

Antes de iniciar las actividades se pide a cada equipo darse una organización o estructura que les permita un trabajo ordenado, sistemático, eficaz y cooperativo. En el cuadernillo anexo, por ejemplo se les propone una estructura con un presidente, un secretario ejecutivo, un secretario técnico y un asistente técnico.

Después de la primera sesión en equipo, conviene que regularmente los equipos evalúen su desempeño. 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 (Towns, 1998):

1. Para actuar como un equipo eficiente necesitamos seguir haciendo las siguientes cosas:
2. Para operar como un equipo más eficiente necesitamos iniciar las siguientes cuestiones:
3. Para ejercitarnos como un equipo más eficiente necesitamos dejar de hacer los siguientes factores:
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.

En cuanto al profesor, como en nuestro enfoque está liberado de la clase tipo conferencia, puede y debe poner al servicio de los alumnos todas sus potencialidades, al complementar y enriquecer las actividades indicadas en el cuadernillo proveerá de un ambiente donde se dé la interacción fructífera del grupo con la experiencia de aprendizaje.

### Conclusiones

Antes de presentar en un anexo el primer cuadernillo tendiente a guiar las sesiones de aprendizaje cooperativo del tema ‘cantidad de sustancia’, deseamos concluir esta porción del artículo con unas frases de Richard Felder (1996), un profesor de ingeniería química muy distinguido en los Estados Unidos, que se ha vuelto un líder en los temas de ‘aprendizaje cooperativo’ y ‘estilos de aprendizaje’:

“Mis observaciones, las respuestas estudiantiles y la investigación independiente apoyan la aproximación instruccional que empleo y me convencer que este enfoque es, de hecho, más efectivo que el enfoque educativo tradicional individual/competitivo. Sin embargo, los obstáculos a la implantación amplia de los métodos probados no son insignificantes. La aproximación requiere profesores que salgan de los métodos limpios, centrados en el profesor, que lo mantengan con el control completo de sus clases, hacia métodos que transfieren deliberadamente el control hacia los estudiantes. Los profesores deben aceptar que mientras aprenden a implantar métodos activos y cooperativos cometerán errores y serán durante un tiempo menos efectivos que lo que eran usando los viejos métodos. Ellos deberán también de confrontar y sobrepasar la resistencia estudiantil, lo cual puede ser una experiencia muy poco placentera. No obstante, al menos desde mi punto de vista, los beneficios potenciales —el aprendizaje estudiantil más profundo y sus actitudes más positivas hacia los temas y hacia ellos mismos— superan justificadamente las dificultades.”

En el apéndice A de su obra, titulado *Goal Structures, Interaction among Students, and Instructional Outcomes*, Johnson y Johnson (1999) presentan un resumen de las investigaciones que se han hecho con relación al

aprendizaje cooperativo, competitivo e individual, su historia y su eficacia. Insisten en que la efectividad del aprendizaje cooperativo ha sido confirmada tanto por la investigación teórica como por la de estudios de casos. Los resultados apuntan consistentemente en apoyar el uso del aprendizaje cooperativo por sobre el competitivo y el individualista. Los estudios teóricos se han enfocado en una amplia diversidad de variables, desde los logros estudiantiles, el razonamiento de alto nivel, amistad entre los miembros del equipo y su durabilidad, hasta la autoestima o la salud psicológica.

El extenso cuerpo de investigación sobre aprendizaje cooperativo es brillantemente resumido por Wells, Chang y Maher (1992) cuando indican:

“Nuestra conclusión es que para conseguir más efectivamente la meta educativa de la construcción del conocimiento, las escuelas y los salones necesitan convertirse en comunidades de pensadores letrados comprometidos con la indagación colaboradora”.

### 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 (incluye también la citada en el Anexo I)

- Basocchi, E., Modak, B., Arellano, M., Ávila, E., Ríos, D., Acuña, A. y Martínez, M. La clase Cooperativa: Un método activo para el aprendizaje de la Química, *Investigaciones en Educación* 4, 185-195, 2004.
- Barbosa, R. M. N. y Jófili, Z. M. S. Aprendizagem cooperativa e ensino de química –parceria que dá certo, *Ciência & Educação*, 10(1), 55-61, 2004.
- Basili, P. A. y Sanford, J. Conceptual change strategies and cooperative work in chemistry, *J. Res. Sci. Teach.*, 28(4), 293, 1991.
- Bishop, E. O. Group work for undergraduates, *Education in Chemistry*, 32, 131, 1995.
- Bowen, C. W., A Quantitative Literature review of Cooperative Learning Effects on High School and College Chemistry Achievement, *J. Chem. Educ.*, 77(1), 116-119, 2000.
- Clarke, J., Pieces of the Puzzle: The Jigsaw Method, en Sharan, S. (ed.), *Handbook of cooperative learning methods*, New York: Praeger, 1994. pp. 34-50.
- Cohen, E. G., Restructuring the classroom: Conditions for productive small groups, *Review of Educational Research* 64, 1-35, 1994.
- Cooper, M. M. Cooperative Learning. An Approach for Large Enrollment Courses, *J. Chem. Educ.*, 72(2), 162-164, 1995.
- Coppock, C. and Nath-Dwivedi, K., Group Work in Schools, en *Group Work with Children and Adolescents. A Handbook*, Jessica Kingsley Pub., London, 1993.
- Dimant, R. J. and Berison, D. J., Development of formal reasoning during successive peer interactions, *Developmental Psychology* 27, 277-284, 1991.
- Dougherty, R. C. Grade/Study-Performance Contracts, Enhanced Communication, Cooperative learning, and Student performance in Undergraduate Organic Chemistry, *J. Chem. Educ.*, 74(6), 722-726, 1997.
- Felder, R. M., Active-Inductive-Cooperative Learning: An instructional Model for Chemistry?, *J. Chem. Educ.*, 73(9), 832-836, 1996.
- Herron, J. D., *The Chemistry Classroom. Formulas for Successful Teaching*, Washington, D.C., American Chemical Society, 1996.
- Jensen, W. B., Logic, history, and the chemistry textbook, Part II. Can we unuddle the chemistry textbook?, *J. Chem. Educ.*, 75(7), 817-828, 1998.
- Johnson, D. W., Student-student interaction: the neglected variable in education, *Educational Researcher*, 10, 5-10, 1981.
- Johnson, D. W., Johnson, R. T., *Learning together and alone. Cooperative, Competitive and Individualistic Learning*. Boston, Allyn and Bacon, 5ª edición, 1999.
- Kreke, K. y Towns, M. H., Student Perspectives of Small-Group Learning Activities, *Chemical Educator*, 3(4), 1998.
- Mehta, A. Demand still soft for new chemists, *Chemical and Engineering News*, 82(44), 36-40, November 1, 2004.
- Nurrembern, S. C. y Robinson, W.R., Cooperative Learning: A Bibliography, *J. Chem. Educ.* 74(6), 623-624, 1997.
- Qin, A., Johnson, D. W. y Johnson, R. T. Cooperative versus competitive efforts and problem solving, *Review of Educational Research*, 65, 129-143, 1995.
- Sharan, S. (ed.), *Handbook of cooperative learning methods*, New York: Praeger, 1994.
- Sherman, S. J., Cooperative Learning and Science, en Sharan, S. (ed.), *Handbook of cooperative learning methods*, New York: Praeger, 1994. pp. 226-244.
- Slavin, R. E., *Cooperative learning. Theory, research and practice*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, 1990.
- Slavin, R. E., Students Teams-Achievement Division, en Sharan, S. (ed.), *Handbook of cooperative learning methods*, New York: Praeger, 1994. Pp. 3-19.
- Spencer, J. N., New Directions in Teaching Chemistry: A Philosophical and Pedagogical Basis, *J. Chem. Educ.*, 76(4), 566-569, 1999.
- Stout, R., Towns, M. H., Sauder, D., Zielinski, T. J. y Long, G., Online Cooperative Learning in Physical Chemistry, *Chemical Educator*, 1(2), 1-21, 1997.
- Taber, K.S., *Chemical misconceptions—prevention, diagnosis and cure*, Volume 1. Theoretical background, Londres, Royal Society of Chemistry, 2002.
- Toseland, R. W. and Rivas, R. F., *An introduction to group work practice*, Allyn and Bacon: Boston, 1997.
- Towns, M. H., How Do I Get My Students To Work Together? Getting Cooperative Learning Started, *J. Chem. Educ.*, 75(1), 67-69, 1998.
- Well, G., Chang, G. L. M. and Maher, A., Creating classroom communities of literate thinkers. In S. Sharan (ed.) *Cooperative learning. Theory and research*. New York: Praeger, 1992. pp. 95-121.
- Wright, J. C. Authentic learning environment in analytical chemistry using cooperative methods and open-ended laboratories in large-lecture courses, *J. Chem. Educ.*, 73(9), 827-832, 1996.

## ANEXO I.

### Cuadernillo “La reacción química y su representación”

*Estimadas alumnas y alumnos:*

En esta modalidad la materia no será presentada directamente por su profesora o profesor sino que la encontrarán desarrollada en el cuadernillo que en este momento están leyendo. El tema que desarrollaremos se llama ‘Cantidad de Sustancia’ y consta de tres cuadernillos como éste, que en particular se llama “La reacción química y su representación”. En sus páginas encontrarán ejemplos, ejercicios y desafíos a resolver. Su estudio se llevará a cabo en equipos de cuatro integrantes.

El trabajo en equipo es un buen medio para adquirir sólidamente conocimientos y habilidades. También es útil en el desarrollo personal pues invita a practicar y a mejorar otras cualidades tales como la comunicación clara de ideas, el compañerismo, la responsabilidad, la tolerancia y el respeto hacia uno mismo y hacia los demás.

La profesora o el profesor estará siempre a su disposición para orientarlos y apoyarlos cuando así lo soliciten.

Nos permitimos hacer énfasis en que el estudio es un compromiso personal, que requiere de dedicación y esfuerzo y cuyo fruto, además de la adquisición de conocimientos, habilidades intelectuales, actitudes y valores, es la inmensa satisfacción que produce el aprender y aplicar el conocimiento adquirido.

Les deseamos mucho éxito.

#### EL EQUIPO DE TRABAJO

##### El método de estudio: aspectos esenciales

Estimadas alumnas y alumnos: nos permitimos presentarles los componentes principales del método que usaremos para aprender el tema de ‘Cantidad de Sustancia’ y también la forma en que se medirán y evaluarán sus conocimientos.

##### A. El trabajo en equipo

Los grupos serán formados por su profesora o profesor, para lo cual podrá aplicar un cuestionario breve que intente revelar su experiencia de trabajo en equipo, su posible gusto o disgusto con esta técnica y sus calificaciones en los cursos previos.

Los grupos desarrollarán las actividades de aprendizaje en forma cooperativa, es decir, trabajando en equipo. El lema del trabajo en equipo es: uno para todos y todos para uno.

Es tarea del grupo preocuparse de que cada uno de sus integrantes alcance satisfactoriamente los objetivos de la unidad. Esto es algo muy importante, ningún alumno del grupo puede quedarse rezagado en su aprendizaje.

Trabajar en equipo no es lo mismo que trabajar juntos

con cada persona desconectada del resto. Es conveniente que el grupo aborde cada actividad en conjunto y una vez terminada pase a la siguiente. No se aconseja, ni es necesario, que para ganar tiempo se desarrollen varias actividades simultáneamente, debiéndose para ello repartirse el trabajo. Como verán en este método se cuenta con el tiempo suficiente para desarrollar todas las actividades de la manera recomendada.

Trabajar en equipo no es fácil: al comienzo pueden producirse dificultades entre los miembros. En todo caso es bueno que las haya pues forman parte de la vida real y nos dan la oportunidad de practicar el diálogo, la comprensión y la tolerancia. Un grupo bien constituido puede llegar donde se lo proponga.

##### B. El cuadernillo

El cuadernillo es personal. Les recomendamos que lo cuiden, que no lo pierdan y que no olviden traerlo a su clase de química pues contiene la materia que deben estudiar.

El cuadernillo incluye una sección llamada HOJA DE RESPUESTAS (HR) donde podrán verificar si sus resultados son correctos. También cuenta con un apartado que entregue información adicional llamada DATOS DE INTERÉS (DI) que puede ser útil consultar para responder algunas preguntas.<sup>1</sup>

El cuadernillo cuenta con espacios para que tomen notas y registren sus respuestas. Les agradecemos que sólo usen lápiz de pasta.

No teman equivocarse cuando respondan en el cuadernillo pues las respuestas incorrectas o las anotaciones que queden registradas no influyen en la nota que obtengan en esta unidad. Por otra parte estamos interesados en analizar sus respuestas iniciales pues nos permitirán ir mejorando este material. Por eso les pedimos que NO BORREN lo que hayan escrito y que consideren posteriormente erróneo, sólo invalídenlo tachándolo de modo que pueda leerse, como se indica a continuación:

~~NO BORREN SUS COMENTARIOS, ANOTACIONES Y RESPUESTAS INICIALES.~~

~~SI DESEAN MODIFICARLAS O ELIMINARLAS, TÁCHENLAS DE ESTA MANERA Y RESPONDAN NUEVAMENTE~~

<sup>1</sup> En esta versión del cuadernillo no hemos incluido la hoja de respuestas ni los datos de interés, ya que con ello estaríamos comprometiendo el espacio límite para un artículo en esta revista. Sin embargo, sí recomendamos ampliamente a los profesores incorporar estos elementos en el cuadernillo.

**C. Organización del grupo**

Antes de iniciar las actividades es necesario que el grupo se dé una organización o estructura que les permita un trabajo ordenado, sistemático, eficaz y cooperativo.

La organización puede considerar algunos cargos para cumplir funciones que el grupo considere importantes. Los cargos y funciones que se presentan son sólo sugerencias y se ofrecen para orientarlos a desarrollar su propia estructura.

Algunos cargos posibles son:

**PRESIDENTE**

Dirige y mantiene al grupo motivado, impulsando el desarrollo de las actividades en un ambiente grato y cooperativo.

**SECRETARIO EJECUTIVO**

Se preocupa de que cada integrante participe efectivamente y vaya completando el cuadernillo.

**SECRETARIO TÉCNICO**

Administra la Hoja de Respuestas y Datos de Interés; Solicita el apoyo de la profesora o profesor a solicitud del presidente.

**ASISTENTE TÉCNICO**

Revisa cálculos y operaciones, en caso de respuestas discrepantes.

**ACTIVIDAD 1**

Organícense como grupo, definan los cargos y nombren a los encargados.

Cargo	Descripción	Estudiante responsable	Duración

**CANTIDAD DE SUSTANCIA**

La química es una ciencia que investiga las transformaciones que sufren las sustancias. Para ello, los químicos utilizan sustancias cuya masa y volumen deben ser medidas cuidadosamente. Ejemplo: 150,00 gramos del compuesto A; 250,00 litros del compuesto B.

Además de medir la masa y el volumen, los químicos también miden la cantidad de sustancia y la expresan en moles. Ejemplo: 1,5 mol de hidrógeno gaseoso molecular. Pero, ¿cu significa esto

Para aprender y aplicar el significado del concepto ‘Cantidad de sustancia’ y de su unidad ‘el mol’, desarrollaremos el tema en tres etapas:

- I. La reacción química y su representación;
- II. Determinación de las masas atómicas relativas, y
- III. Entidades elementales.

**1. La reacción química y su representación**

**1.1 Teoría atómica de Dalton**

Dalton, en el año 1803, expuso su teoría atómica de la materia en la Sociedad Literaria y Filosófica de Manchester, Inglaterra. Esta teoría permitió dar una explicación convincente a muchos hechos experimentales como la ley de Conservación de la Materia, la ley de las Composiciones Definidas y la de las Proporciones Múltiples.

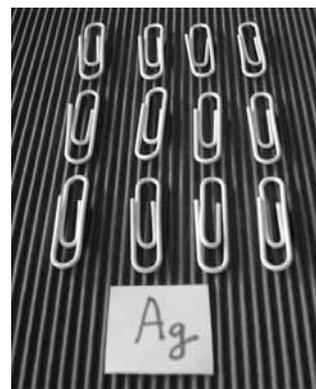
Presentó además la primera tabla de masas atómicas con 20 elementos. ¿Cómo determinó Dalton la masa de estos átomos tan pequeños y prácticamente invisibles sin el apoyo de instrumentos modernos? Pronto estaremos en condiciones de comprender y aplicar el procedimiento utilizado por este gran científico inglés.

La teoría atómica de Dalton puede resumirse en cinco postulados. Un postulado es una afirmación que se acepta como verdadera hasta que se pruebe experimentalmente que no lo es.

**Postulados de la teoría atómica de Dalton**

1. *Toda la materia está formada de átomos.*

Comentario: De acuerdo con esta proposición una barra de plata, por ejemplo, puede visualizarse como una asociación de muchos átomos. Si utilizamos clips para representar a los átomos, una porción esquemática de plata puede verse simplificada como lo muestra la figura 1, con un cierto número de clips. Está claro que una porción tan pequeña, con tan pocos átomos de plata, todavía no tiene las propiedades de la sustancia metálica, pero a nosotros lo que nos interesa es solamente mostrar de forma sencilla una representación esquemática, al establecer un paralelismo entre los pequeñísimos átomos y los clips (hemos colocado las figuras en blanco y negro cerca del lugar donde se citan por primera vez. El lector que desee ver todas las figuras a colores podrá hacerlo en la segunda y tercera páginas de forros de este ejemplar de la revista).



**Figura 1.** Representación esquemática mediante el uso de clips de una porción de plata sólida.

2. Los átomos de un mismo elemento son iguales entre sí y diferentes a los átomos de otro elemento.

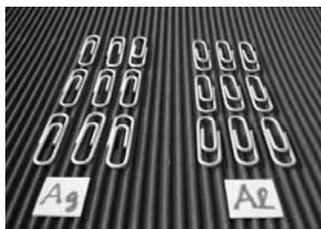


Figura 2. Representación esquemática de dos elementos diferentes

Comentario: De acuerdo a este postulado en una barra de plata y en una barra de aluminio los átomos respectivos son iguales entre sí, siendo los átomos de plata distintos a los de aluminio como queda representado esquemáticamente en la figura 2.

3. Los átomos de elementos distintos pueden asociarse formando compuestos. Los compuestos a su vez, pueden separarse en sustancias más simples.

Comentario: En química acostumbramos representar las reacciones con el símbolo de las sustancias reactantes, antes de la flecha, y los símbolos de las sustancias producto, después de la flecha. Aunque vamos a desarrollar con detalle el uso de esta nomenclatura en la sección 4.0 de este cuadernillo, dentro de tres páginas, conviene que se vayan familiarizando con ella.

En este caso (figura 3) la reacción representada es:



En ella, dos átomos de A se asocian con uno de B para dar como resultado una molécula de C, que corresponde a la fórmula  $A_2B$ .

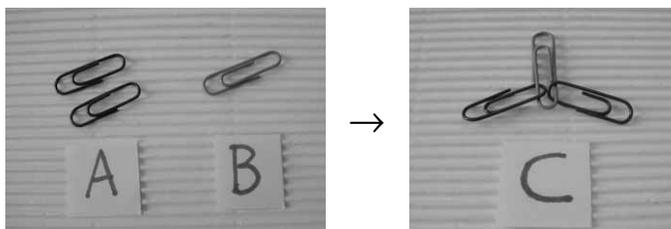


Figura 3. Representación de los elementos A y B antes de asociarse y ya asociados, formando el compuesto C. El compuesto C a su vez, puede separarse en sus componentes. En este ejemplo dos átomos de A se asocian con un átomo de B.

4. Cuando los átomos se asocian para formar compuestos o cuando estas asociaciones se separan en sustancias más simples, los átomos mantienen su identidad.

En la reacción mostrada en la figura 4, tres átomos de A y tres átomos de B se asocian en una molécula a la que podríamos llamar  $A_3B_3$ .

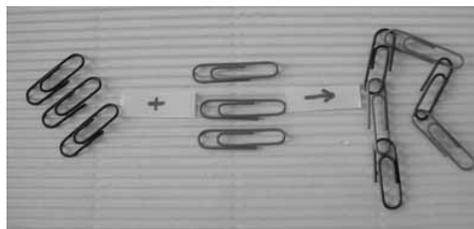


Figura 4. Representación de una asociación entre los átomos de dos elementos. Puede apreciarse que los clips no asociados y una vez asociados no han cambiado individualmente. Aquí es importante aclarar que, cuando se forma una nueva sustancia, las propiedades de los átomos que la constituyen sí cambian. De hecho, se puede decir que ya no tenemos el átomo original, con la salvedad de que su núcleo tiene el mismo número de protones que antes.

Podemos decir que en esta nueva molécula,  $A_3B_3$ , se mantiene la identidad de los átomos de A y de B.

5. Los átomos no se crean ni se destruyen.

Comentario: Una reacción química puede entenderse como un proceso donde los átomos de las sustancias de partida se asocian entre ellos formando otras sustancias.

En otras palabras, el número de átomos del elemento A antes de la flecha debe ser igual al número de átomos del elemento A después de la flecha. Es decir, el número de átomos de A debe conservarse.

Lo mismo debe suceder para los átomos del elemento B. En la figura 5 podemos observar 2 átomos de A y 4 átomos de B tanto antes como después de la flecha.

El símbolo de esta reacción es, por lo tanto:

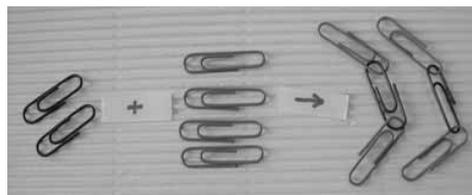


Figura 5. El número de átomos de partida (a la izquierda de la flecha) es igual al número de átomos asociados (a la derecha de la flecha).

## 2. Representación de elementos y compuestos

Utilizaremos la teoría atómica de Dalton para diferenciar un elemento de un compuesto.

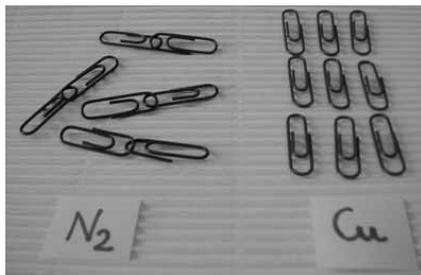
### 2.1 Elementos

La teoría atómica nos permite definir a los elementos como sustancias formadas por un solo tipo de átomos. Ejemplo: el sodio es un elemento pues en una porción de sustancia de él sólo encontramos átomos de sodio.

En la ecuación química, que es la forma simbólica de des-

cribir una reacción química, los elementos se representan por su símbolo, que a veces incluye un subíndice. Ejemplo: Cu (cobre); Al (aluminio); O<sub>2</sub> (oxígeno); N<sub>2</sub> (nitrógeno); S<sub>8</sub> (azufre).

El subíndice en este caso, es un número que indica si el elemento se presenta en la naturaleza con sus átomos asociados formando unidades de dos o más átomos, a las que llamamos moléculas o, si es una agrupación de átomos individuales. En este último caso el subíndice es 1 y no se acostumbra ponerlo.

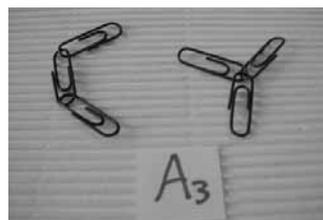


**Figura 6.** A la izquierda, una representación de una porción de sustancia de nitrógeno como un conjunto de moléculas dinucleares. A la derecha, una representación de una porción de sustancia de cobre como un conjunto de átomos individuales.

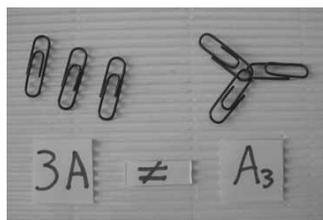
de átomos individuales. Observen la figura 6. En ella está representada simplificada a escala atómica una porción de sustancia de nitrógeno gaseoso y otra de cobre sólido.

Si un elemento A se presenta en unidades de 3 átomos lo indicamos como A<sub>3</sub>, y lo representamos como tres clips unidos. Cualquiera de las dos representaciones de la figura 7 la consideraremos correcta. Lo importante es que quede claro que los átomos se encuentran unidos formando moléculas trinucleares.

Por otra parte, debemos diferenciar 3 A (3 átomos individuales) de A<sub>3</sub> (molécula trinuclear). Véase la figura 8.



**Figura 7.** Dos formas de representar una molécula trinuclear. A<sub>3</sub>.



**Figura 8.** 3 A no es lo mismo que A<sub>3</sub>.

<sup>2</sup> Ésta es una nota para el profesor o la profesora: Según Jensen (1998) ésta debe ser la forma como debemos referirnos a las hasta ahora llamadas moléculas diatómicas. Dice Jensen: "Debemos descartar el uso de términos tales como diatómico, poliatómico, etc. y hablar acerca

## PREGUNTA 1

Representen usando clips o figuras geométricas las moléculas: P<sub>4</sub> (Fósforo); S<sub>8</sub> (Azufre); O<sub>3</sub> (Ozono).



## 2.2 Compuestos

Los compuestos son sustancias formadas por átomos de al menos dos elementos diferentes; es decir, presentan asociados químicamente dos tipos de átomos como mínimo.

Los compuestos se representan por fórmulas. Las más sencillas informan de los elementos que los componen y el número real o la proporción numérica en que están asociados los átomos respectivos. Otras fórmulas más elaboradas muestran además cómo están dispuestos espacialmente dichos átomos.

En esta oportunidad usaremos la fórmula empírica y la fórmula molecular para representar a los compuestos pues son las que se utilizan habitualmente en las ecuaciones químicas que a su vez representan a las reacciones químicas.

### La fórmula empírica

La fórmula empírica indica la proporción atómica en que se encuentran asociados los átomos de los elementos que conforman un compuesto. Esta fórmula no indica cómo están dispuestos estos átomos.

Si analizamos una porción de sustancia del compuesto cloruro de sodio podemos comprobar que el número de átomos de sodio y de cloro es el mismo; dicho de otra manera: los átomos de sodio y de cloro se encuentran asociados en una proporción atómica Na/Cl = 1/1

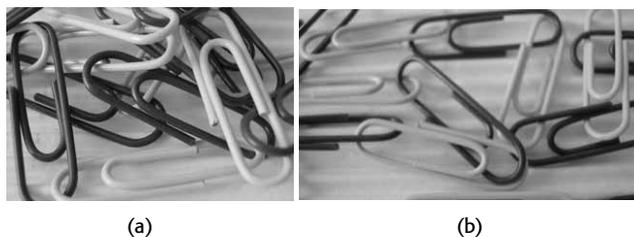
La fórmula empírica da cuenta de este hecho representando al compuesto cloruro de sodio simplemente como:

### NaCl

Es muy apropiada para representar compuestos que tienen una "estructura gigante". En estos compuestos todos los átomos de los elementos que la componen forman una inmensa unidad tridimensional.

Por ejemplo, en las figuras 9a y 9b se presenta un compuesto con una estructura muy complicada visto desde dos ángulos.

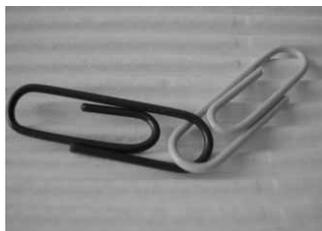
de moléculas dinucleares y polinucleares. De la misma manera, deberíamos hablar de la caracterización de la composición y estructura molecular en términos del tipo, número y arreglo de los núcleos componentes más bien que de los átomos componentes."



**Figura 9a y 9b.** Representación simplificada de una porción de sustancia de un compuesto con "estructura gigante" vista desde dos ángulos. Todos los átomos se encuentran formando parte de la estructura.

Si contáramos los clips morados (M) y verdes (V) contaríamos que la proporción es tal que su cociente es la unidad

$$\frac{\text{número de clips morados}}{\text{número de clips verdes}} = 1$$



**Figura 10.** La fórmula empírica de este compuesto es MV, porque existe un átomo morado por cada átomo verde. Esto no significa que exista realmente la entidad MV, tal cual como está representada en la figura, sino solamente sirve para indicar un hecho experimental: que la proporción mínima de átomos de cada tipo presente en un compuesto de este tipo es uno morado por cada verde.

Consideraremos *sólo con fines prácticos* a la estructura gigante presentada en la figuras 9a y 9b, como una suma de unidades [clip morado–clip verde]. A esta unidad ficticia la llamaremos FÓRMULA EMPÍRICA, ya que se obtiene experimentalmente analizando el compuesto y verificando su composición. La fórmula empírica, que en este caso corresponde a MV, no es una molécula puesto que no es independiente, sólo representa el hecho de que existe un clip morado por cada clip verde (ver figura 10).

### PREGUNTA 2

El calcio y el cloro forman un compuesto de estructura gigante. Propongan la fórmula empírica del compuesto de calcio y cloro sabiendo que en el compuesto los átomos de calcio y de cloro se encuentran asociados en una proporción atómica:

$$\text{Ca/Cl} = 1/2$$



### PREGUNTA 3

¿Qué significa que la fórmula empírica del compuesto fluoruro de magnesio sea  $\text{MgF}_2$ ?

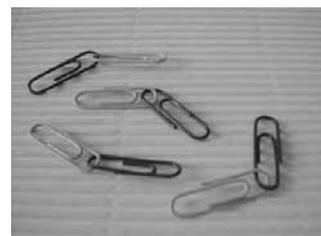


### La fórmula molecular

Hay un conjunto de compuestos llamados moleculares.

Estos compuestos se caracterizan por estar constituidos por un conjunto de moléculas idénticas de acuerdo a la teoría atómica en la que nos basamos.

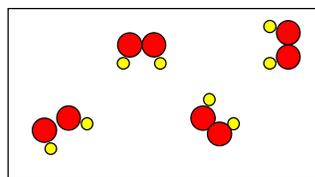
Los compuestos moleculares los representaremos a través de la FÓRMULA MOLECULAR la cual indica el número efectivo de átomos de cada elemento que hay en cada una de las moléculas presentes en una porción de sustancia del compuesto. En la figura 11, por ejemplo, cada una de las moléculas AB contiene un átomo de A y uno de B.



**Figura 11.** Representación de una porción de sustancia de un compuesto molecular del tipo AB.

El peróxido de hidrógeno es un ejemplo de este tipo de compuestos: está formado por moléculas tetranucleares constituidas por dos átomos de hidrógeno y dos átomos de oxígeno cada una. De esta manera la fórmula del peróxido de hidrógeno se escribe:  $\text{H}_2\text{O}_2$ , y corresponde a su fórmula molecular. Nótese que la fórmula empírica del agua oxigenada es HO.

En la figura 12 se presenta una muestra de agua oxigenada con unas pocas moléculas de este compuesto representadas con figuras geométricas de colores.



**Figura 12.** He aquí una muestra con cuatro moléculas de agua oxigenada. Un círculo rojo representa al átomo de oxígeno y un círculo amarillo representa al átomo de hidrógeno. Cada unidad  $\text{H}_2\text{O}_2$  corresponde a una molécula de agua oxigenada y la fórmula representada en cada uni-

dad dice algo más que la composición atómica con dos átomos de hidrógeno y dos de oxígeno, habla también de la estructura de la molécula, es decir, de la forma específica en la que están agrupados los átomos que la constituyen, con los átomos de oxígeno enlazados entre sí y los átomos de hidrógeno enlazados a los oxígenos. Por eso decimos que éstas son fórmulas estructurales.

#### PREGUNTA 4

El etano es un compuesto molecular gaseoso de fórmula  $C_2H_6$ . Dibujen una porción de este compuesto con las que crean que son sus fórmulas estructurales.



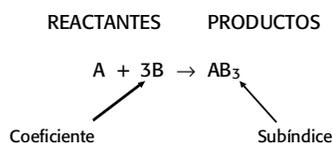
### 3. Número de entidades elementales

Vamos a definir una nueva magnitud: el número de entidades elementales. En la tercera parte de este artículo definiremos con precisión el término ‘entidades elementales’; por ahora basta mencionar que los átomos y las moléculas son un ejemplo de ellas.

Esta magnitud del número de entidades elementales nos ayuda a contar átomos y moléculas. Por lo tanto, es una magnitud microscópica y aditiva, que representamos por  $N$ . Su unidad es número de átomos, número de moléculas, etcétera, y se debe aclarar la especie química de la que se habla. Así, por ejemplo, puede mencionarse que en una porción de sustancia de plata hay  $1 \times 10^{20}$  átomos de plata. Este conjunto extenso de átomos sí presenta las propiedades de la sustancia metálica.

### 4. La ecuación química

Para señalar la reacción de un elemento A con un elemento B sabiendo que lo hacen en una proporción atómica  $A/B = 1/3$ , se utiliza una ecuación como la siguiente que representa simbólicamente lo ocurrido:



La ecuación presenta a la izquierda de la flecha a los reactantes, o sustancias de partida, representados por los símbolos de los elementos correspondientes y a la derecha, el o los productos formados, representados por su fórmula correspondiente.

Esta ecuación no informa de la velocidad con que transcurre la reacción entre A y B ni cómo se llega al producto  $AB_3$ . La parte de la química que estudia este campo se llama cinética.

En ambos miembros de la ecuación debe haber el mismo número de átomos de cada elemento, es decir, debe estar balanceada o equilibrada. Con este objeto se usan

números llamados coeficientes, el coeficiente 3 que antecede a B significa que tres átomos de B reaccionan con uno de A. Cuando el coeficiente es 1 no se escribe.

La fórmula  $AB_3$  indica que se trata de un compuesto que presenta asociados los elementos A y B en una proporción atómica 1 a 3 lo cual se indica usando subíndices.

Cuando el subíndice es 1 no se escribe.

Para saber qué tipo de fórmula representa al compuesto formado debemos tener información adicional de él. Si se nos indica que es un compuesto de estructura gigante entonces la fórmula  $AB_3$  corresponde a la fórmula empírica del compuesto, en el que hay tres átomos de B por cada átomo de A.

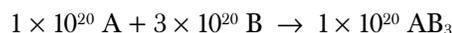
Si se indica que es un compuesto molecular entonces  $AB_3$  se trata de la fórmula molecular

Supondremos que el compuesto formado en la reacción en estudio es de tipo “estructura gigante”.

Cuando se hace reaccionar a los elementos A y B, se ponen en contacto en condiciones experimentales adecuadas un número inmenso de átomos de cada elemento.

La ecuación no indica el número real de átomos participantes sino la proporción mínima en la que reaccionan. Para hablar del número de átomos y moléculas participantes hay que introducir el número de entidades elementales,  $N$ .

Si por ejemplo se hace reaccionar una porción de sustancia de A con una porción de sustancia de B (con el triple número de átomos) para dar una porción de sustancia de  $AB_3$ . Esto mismo expresado en términos de número de entidades elementales queda, por ejemplo, como sigue:  $1 \times 10^{20}$  átomos de A reaccionan con  $3 \times 10^{20}$  átomos de B, formándose  $1 \times 10^{20}$  fórmulas  $AB_3$ , lo cual escribiríamos:



Por lo tanto, simbólicamente y por simplicidad, se puede plantear la siguiente ecuación química como la proporción mínima de reacción:



Una representación usando clips se muestra en la figura 13.

La representación del compuesto obtenido es completamente arbitraria pues no sabemos la distribución espacial de los átomos A y B ni tampoco el orden en que están unidos los átomos. Los clips A y B podrían estar dispuestos de otra manera. Lo que interesa es

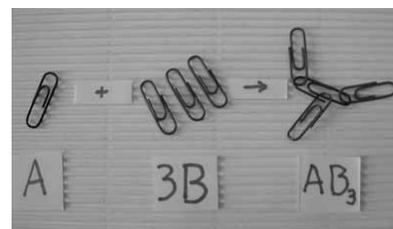


Figura 13. Representación de la ecuación  $A + 3 B \rightarrow AB_3$  con clips.

que su representación indique que los átomos A y B están asociados en una proporción 1:3. También estamos suponiendo que los elementos A y B presentan a sus átomos como un conjunto de átomos individuales.

Si para la misma reacción se nos informara que:

- El elemento A presenta sus átomos asociados en unidades de 2 átomos (moléculas dinucleares).
- El elemento B es un agregado de átomos individuales.
- El compuesto es molecular y su molécula tiene fórmula  $AB_3$ .

La ecuación deberíamos proponerla de esta manera:



Y su representación con clips se muestra en la figura 14.

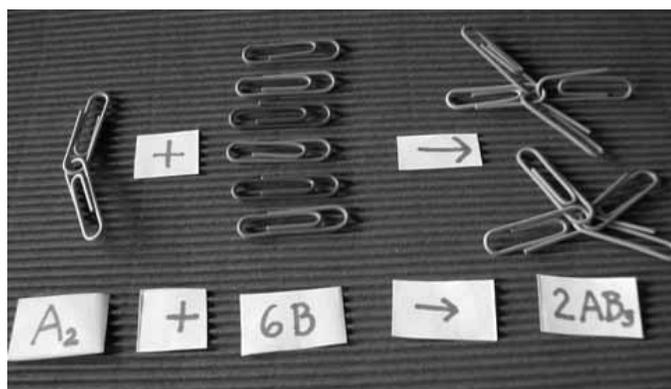


Figura 14. Representación de la ecuación  $A_2 + 6 B \rightarrow 2 AB_3$  con el empleo de clips.

Si ahora se nos indica que el elemento B también se presenta asociado en moléculas dinucleares, la ecuación respectiva sería:



y su representación la de la figura 15.

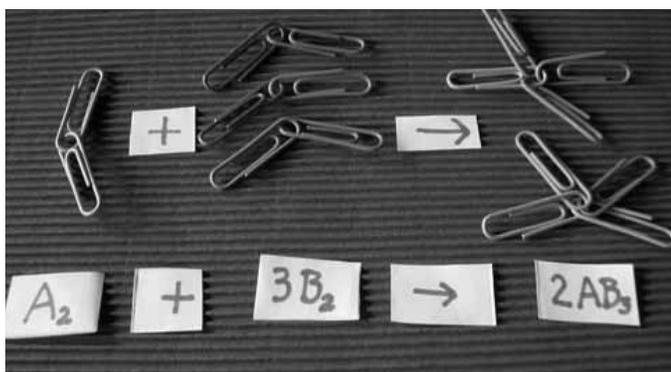


Figura 15. Representación de la ecuación  $A_2 + 3 B_2 \rightarrow 2 AB_3$  con clips

### PREGUNTA 5

Propongan la ecuación y describan en palabras la reacción que se representa en la figura 16.

Ecuación
Representación

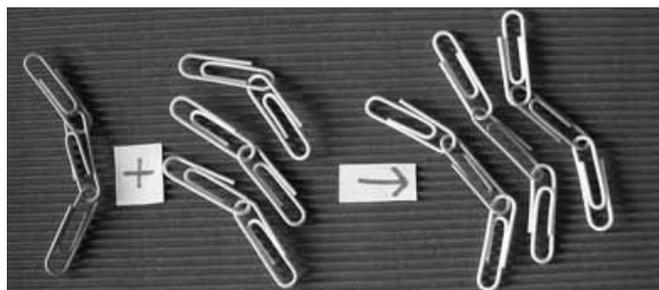


Figura 16. ¿Cuál es la ecuación?

### PREGUNTA 6

Descubran el Error(I) de la figura 17 y escriban en qué consiste.

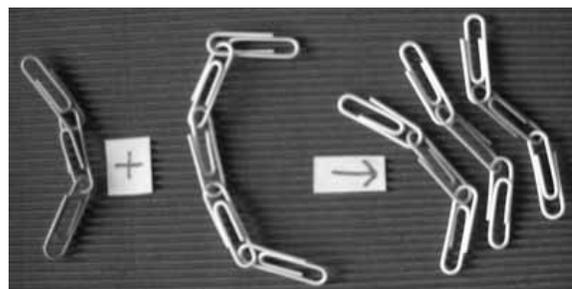


Figura 17. ¿Cuál es el error?

### PREGUNTA 7

Descubran el Error(II) en la figura 18 y escriban en qué consiste.

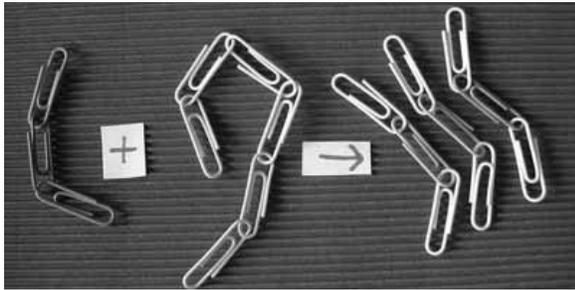


Figura 18. ¿Cuál es el error?

**PREGUNTA 8**

Representen a los átomos A y B mediante figuras geométricas:

A: B:

muestren a escala atómica la diferencia entre:

- a) 2 A y A<sub>2</sub>
- b) A<sub>2</sub>B y AB<sub>2</sub>
- c) 2 A<sub>2</sub> y 4 A
- d) AB y A<sub>2</sub>B<sub>2</sub>

Discutan sus resultados con algún grupo vecino.

**PREGUNTA 9**

La reacción de los elementos T y R da como resultado un compuesto de fórmula molecular TR<sub>4</sub>. Se sabe que T se presenta como un agregado de átomos individuales y que R lo hace en moléculas trinucleares. ¿Cuál de las siguientes ecuaciones representa adecuadamente la reacción en estudio?

- a) 3 T + 4 R<sub>3</sub> → 3 TR<sub>4</sub>
- b) T + R<sub>3</sub> → TR<sub>3</sub>
- c) 3 T<sub>3</sub> + 4 R<sub>3</sub> → 3 T<sub>3</sub>R<sub>4</sub>
- d) T<sub>3</sub> + 12 R → 3 TR<sub>4</sub>

**PREGUNTA 10**

La reacción de los elementos Z y W da como resultado un compuesto de fórmula Z<sub>2</sub>W<sub>3</sub>.

Se sabe que Z es un elemento molecular trinuclear y W es un elemento molecular dinuclear.

Escriban la ecuación de la reacción y su representación usando figuras geométricas.

Ecuación
Descripción

**PREGUNTA 11**

Se hace reaccionar azufre y hierro. El azufre está formado por moléculas octanucleares y el hierro por un conjunto de átomos individuales. Se sabe que reaccionan formando un compuesto de fórmula empírica FeS.

11.1 Si se ponen en contacto azufre y hierro en una proporción de 1 molécula de azufre por 8 átomos de hierro, indiquen la situación inicial en el casillero A y la situación final en el casillero B.

Fe: S:

A

⇒

B

11.2 Si se ponen en contacto azufre y hierro en una proporción de 3 moléculas de azufre por 26 átomos de hierro, indiquen la situación inicial en el casillero A y la situación final en el casillero B.

A

⇒

B

11.3 Si se ponen en contacto azufre y hierro en una proporción de 5 moléculas de azufre por 32 átomos de hierro, indiquen la situación inicial en el casillero A y la situación final en el casillero B.

A

⇒

B

**Síntesis**

La Teoría Atómica de Dalton fue la primera teoría científica que desarrolló el concepto de átomo para explicar la estruc-

tura y comportamiento de la materia. A la luz de esta teoría definimos a los elementos como sustancias formadas por átomos de un mismo tipo y a los compuestos como sustancias formadas por asociaciones entre átomos de elementos diferentes. (Actualmente definimos a los elementos como sustancias que tienen átomos con el mismo número atómico y a los compuestos como asociaciones de dos o más elementos unidos por enlaces químicos).

Las reacciones químicas se representan a través de las ecuaciones químicas.

En una ecuación química distinguimos los reactantes, que son las sustancias de partida, y los productos, que son las sustancias que se obtienen al asociarse o descomponerse químicamente los reactantes. Para distinguir los reactantes de los productos usamos una flecha que indica el sentido en que se realiza la reacción.

La ecuación química utiliza símbolos para representar a los elementos y fórmulas para representar a los compuestos. Las fórmulas pueden ser empíricas (que sólo nos muestran la proporción de los átomos de diferentes elementos presentes) o moleculares (que se refieren a la composición o la estructura de esas pequeñas porciones de materia llamadas moléculas, que caracterizan al compuesto).

En una ecuación:

- Los coeficientes indican la proporción a escala atómica en que las sustancias participan en la reacción.
- Los elementos se representan por su símbolo y, si son moleculares, con su correspondiente subíndice, que nos indica el número de esos átomos en la molécula.
- Los compuestos moleculares se representan por su fórmula molecular
- Los compuestos con estructura gigante se representan por su fórmula empírica.

Una ecuación correctamente escrita indica al menos:

- Los símbolos y fórmulas de las sustancias participantes.
- La proporción a escala atómica en que las sustancias participan, para lo cual debe equilibrarse utilizando coeficientes apropiados de modo que en ambos miembros de la ecuación haya el mismo número de átomos de cada elemento.
- Al equilibrar una ecuación, los subíndices en las fórmulas de elementos y compuestos no se pueden modificar, pues representan una característica esencial de esas sustancias.
- Los estados de agregación de todas las sustancias involucradas en la ecuación química.





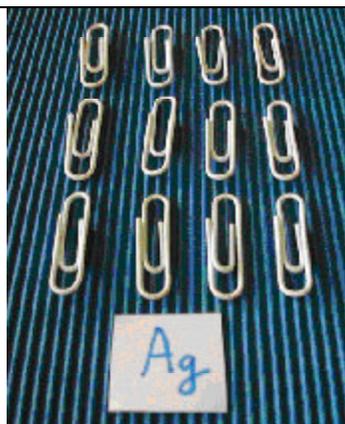
Estimado colega, te invito a conocer algunos  
 materiales didácticos, a través de la **Página:**  
[www.quimicadidactica.com](http://www.quimicadidactica.com)

Atentamente  
*Lucila Castillejos Escobar*  
[contacto@quimicadidactica.com](mailto:contacto@quimicadidactica.com)

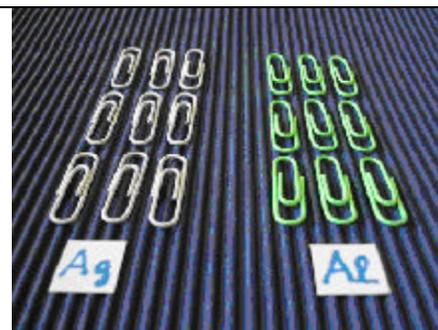
## Aprendizaje cooperativo del concepto 'cantidad de sustancia' con base en la teoría atómica de Dalton y la reacción química

PARTE I. El aprendizaje cooperativo. / ANEXO: CUADERNILLO 'La reacción química y su representación'  
Emilio Balocchi, Brenda Modak, Manuel Martínez-M., Kira Padilla, Flor Reyes-C. y Andoni Garriz

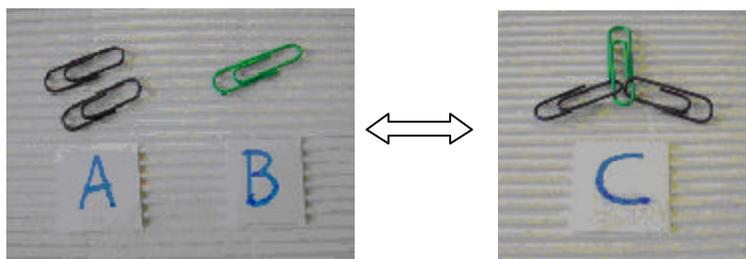
Presentamos aquí las figuras correspondientes al artículo que aparece en las páginas 469 a 485 de este número.



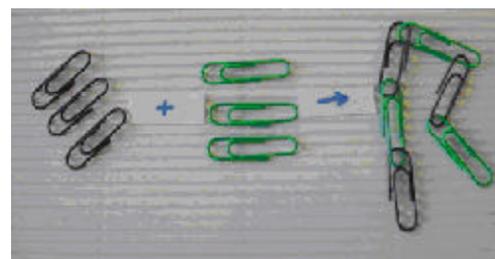
**Figura 1.** Representación mediante el uso de clips de una porción de plata sólida.



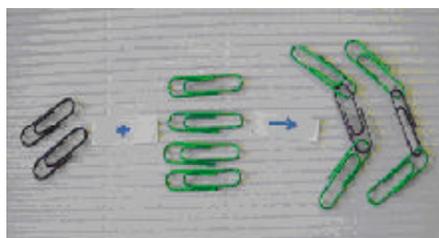
**Figura 2.** Representación de dos elementos diferentes.



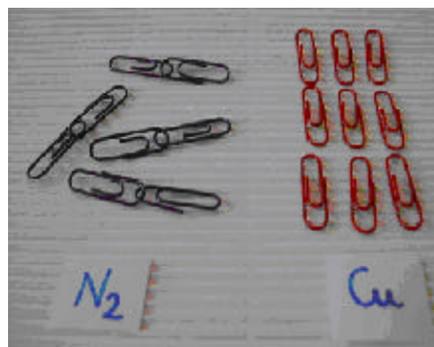
**Figura 3.** Representación de los elementos A y B antes de asociarse y ya asociados, formando el compuesto C. El compuesto C, a su vez, puede separarse en sus componentes. En este ejemplo dos átomos de A se asocian con un átomo de B.



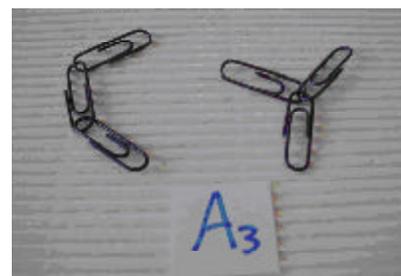
**Figura 4.** Representación de una asociación entre los átomos de dos elementos. Puede apreciarse que los clips no asociados y una vez asociados no han cambiado individualmente.



**Figura 5.** El número de átomos de partida (a la izquierda de la flecha) es igual al número de átomos asociados (a la derecha de la flecha).



**Figura 6.** A la izquierda, una representación de una porción de nitrógeno como un conjunto de moléculas dinucleares. A la derecha, una representación de una porción de cobre como un conjunto de átomos individuales.



**Figura 7.** Dos formas de representar una molécula trinuclear  $A_3$ .

⇒ CONTINÚA en la 3ª de forros

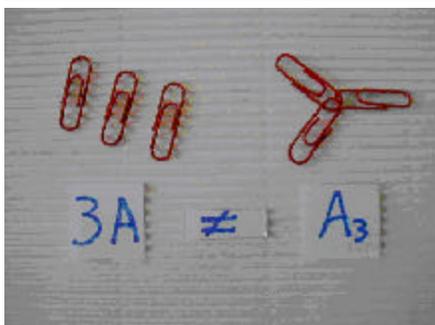
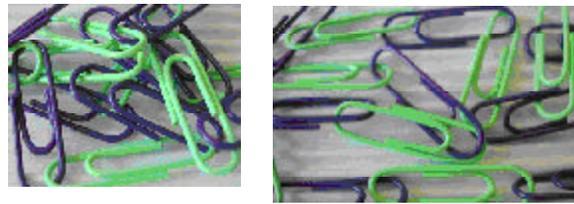


Figura 8. 3 A no es lo mismo que  $A_3$ .



Figuras 9a y 9b. Representación simplificada de una porción de un compuesto con "estructura gigante" vista desde dos ángulos. Todos los átomos se encuentran formando parte de la estructura.



Figura 10. La unidad fórmula del compuesto anterior es MV, porque existe un átomo morado por cada átomo verde.

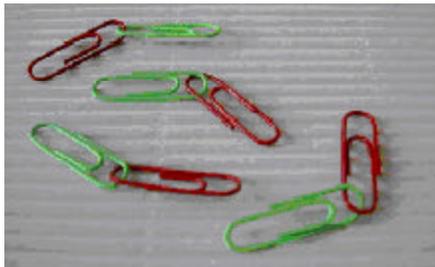


Figura 11. Representación de una porción de un compuesto molecular del tipo AB.

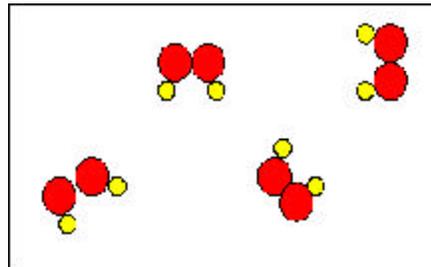


Figura 12. He aquí una muestra con cuatro moléculas de agua oxigenada. Un círculo rojo representa al átomo de oxígeno y un círculo amarillo representa al átomo de hidrógeno.

Cada unidad  $H_2O_2$  corresponde a una molécula de agua oxigenada y la fórmula representada en cada unidad dice algo más que la composición atómica con dos átomos de hidrógeno y dos de oxígeno, habla también de la estructura de la molécula; es decir, de la forma específica en la que están agrupados los átomos que la constituyen, con los átomos de oxígeno enlazados entre sí y los átomos de hidrógeno enlazados a los oxígenos.

Por eso decimos que éstas son fórmulas estructurales.

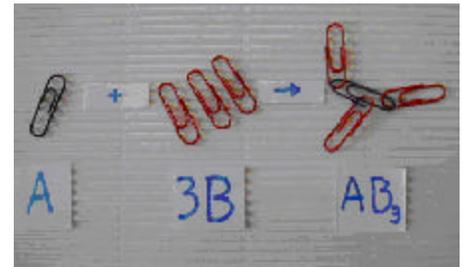


Figura 13. Representación de la ecuación  $A + 3 B \rightarrow AB_3$  con clips.

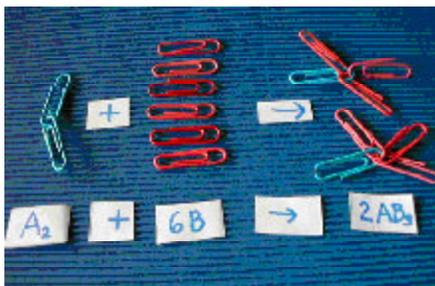


Figura 14. Representación de la ecuación  $A_2 + 6 B \rightarrow 2 AB_3$  con el empleo de clips.

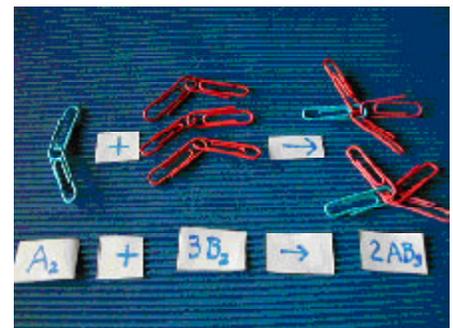


Figura 15. Representación de la ecuación  $A_2 + 3 B_2 \rightarrow 2 AB_3$  con clips.

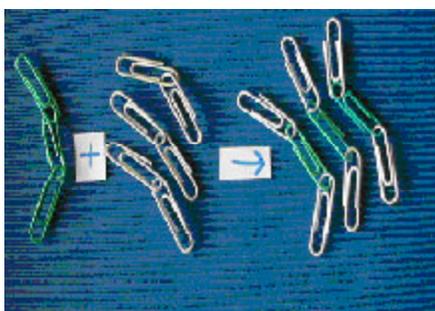


Figura 16. ¿Cuál es la ecuación?

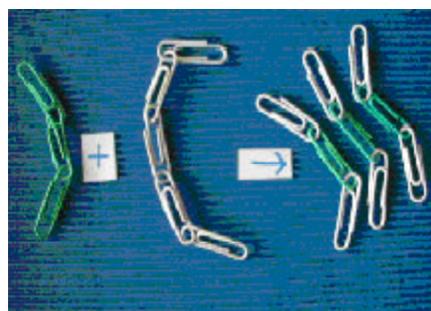


Figura 17. ¿Cuál es el error?



Figura 18. ¿Cuál es el error?