

Ideas para el aula

ENSEÑAR ESTEQUIOMETRÍA CON ANALOGÍAS: DESARROLLO DE UNA SECUENCIA DIDÁCTICA

Andrés Raviolo¹, Gabriela Lerzo¹ y Nancy Piovano²

1. Universidad Nacional de Río Negro. Bariloche. Argentina.

2. Universidad Nacional del Litoral. Santa Fe. Argentina.

E-mail: araviolo@unrn.edu.ar

Resumen. Este artículo tiene como objetivo mostrar el desarrollo de una secuencia de enseñanza con analogías para el tema estequiometría. Sobre la base de las seis etapas propuestas por Glynn se elabora una secuencia no ingenua y fundamentada en reflexiones expresadas por la investigación en didáctica de las ciencias. Esta propuesta apunta a motivar a los estudiantes y diversificar las metodologías frecuentes de enseñanza de la estequiometría. El trabajo con la analogía debería facilitar especialmente la comprensión del significado de reactivo limitante, de las fórmulas químicas y de la ecuación química. Se destaca la expresión del concepto superordinario subyacente de la analogía y la derivación de un procedimiento general para el abordaje de problemas.

Palabras clave: estequiometría, analogías, secuencia didáctica.

Teaching stoichiometry with analogies: the development of a didactic sequence

Abstract. The objective of this article is to show the development of a sequence to teach the subject of stoichiometry with analogies. Based on the six stages proposed by Glynn, a non-naïve sequence is developed, which is founded on reflections arising from research into the teaching of science. This proposal aims to motivate students and diversify the usual approach used to deal with this subject. Working with analogies should facilitate, in particular, understanding of limiting reagent, chemical formulae and equations. Worthy of special note is the expression of the superordinary concept underlying the analogy, and the derivation of a general procedure for dealing with problems.

Key words: stoichiometry, analogies, didactic sequence.

INTRODUCCIÓN

La estequiometría es uno de los conceptos centrales de la química porque se ocupa de los aspectos cuantitativos de la reacción química. Durante su aprendizaje los estudiantes presentan dificultades que van más allá de cuestiones matemáticas, como el dominio de la proporcionalidad (Sanger, 2005). Esto se debe a que la estequiometría aborda las relaciones cuantitativas de la química sobre una base cualitativa, conceptual. Resolver situaciones sobre estequiometría implica la comprensión de varios conceptos como: fórmula química, reacción química, ecuación química.

mica, reactivos y productos, subíndices y coeficientes estequiométricos. Algunos estudiantes mantienen concepciones alternativas luego de la enseñanza, por ejemplo no comprenden las fórmulas químicas en términos de partículas y, aunque ajustan correctamente las ecuaciones químicas, no entienden el significado de los subíndices o de los coeficientes estequiométricos (Yarroch, 1985). Otros afirman que para que se produzca el cambio químico es necesario que los reactivos estén en la situación inicial en una proporción particular (por ejemplo la proporción dada por los coeficientes estequiométricos), dado que se confunde el estado inicial del sistema con el lado izquierdo de la ecuación química (Gauchon y Méheut, 2007).

En cuanto a la enseñanza de la estequiometría no se aprecia mucha diversidad metodológica en su abordaje. Ésta se centra en la resolución de ejercicios con, generalmente, poco trabajo experimental y escaso uso de recursos didácticos. Algunas propuestas alternativas para lograr una mayor motivación de los alumnos incluyen: el planteo de problemas de estequiometría con sustancias de la vida cotidiana de mayor familiaridad para los alumnos (Pinto y León, 2009), el uso de la hoja de cálculo (Raviolo, 2011), etc.

Una alternativa didáctica es emplear estrategias de enseñanza que incluyan analogías, dado que éstas permiten involucrar a los estudiantes desde su conocimiento previo. Una analogía es una comparación de estructuras y/o funciones entre dos dominios (Duit, 1991): un dominio conocido (análogo o análogo base) y un dominio nuevo o parcialmente nuevo de conocimiento (objetivo o análogo meta). Entre ellos se establece un conjunto de relaciones y, además, existen atributos no compartidos que constituyen las limitaciones de la analogía (Oliva et al, 2011).

Raviolo y Lerzo (2014) realizaron una revisión y hallaron múltiples análogos para enseñar estequiometría y en especial reactivo limitante: parejas de baile, ensamble tornillo-tuerca-arandela, ensamble de un auto o bicicleta, sándwiches, frutera, receta de cocina, legos, etc. Encontraron que la presentación de estos análogos es asistemática, descuidada y que no tiene en cuenta las limitaciones propias de su implementación.

Por lo general, en clases de química se observa el empleo de analogías, aunque la presentación de éstas es generalmente superficial y no planificada de acuerdo a premisas sugeridas por la didáctica de las ciencias. A menudo, y en forma espontánea, los docentes recurren a una presentación rápida de alguna analogía para abordar la relación estequiométrica entre dos reactivos o la idea de reactivo limitante. Formulaciones del tipo: "Si en la fiesta hay más hombres que mujeres, habrá hombres

sin pareja que no podrán bailar bajo este contexto. Es decir, quedará un remanente de hombres. Significa entonces que las mujeres limitan el número de parejas que se pueden formar, y que los hombres están en exceso. Lo mismo ocurre cuando quieres preparar hamburguesas con carne, queso y pan. Si no tienes la cantidad suficiente de queso, llegará un momento, cuando el queso se acabe, en el que no podrás hacer más hamburguesas. Te sobrarán panes y carne". Este tipo de presentación llama la atención a los estudiantes y actúa como un introductor previo de acceso a la temática.

A pesar de los cuestionamientos que enuncia la investigación en didáctica de la química sobre el empleo de analogías sobre la estequiometría, éstas se seguirán presentando en las clases (Raviolo y Lerzo, 2014). Es necesario advertir a los docentes sobre las concepciones alternativas que pueden fomentar y recomendar estrategias didácticas adecuadas para su abordaje. El objetivo de este trabajo es ofrecer una propuesta no ingenua que aproveche en profundidad el potencial de la analogía, que siga una metodología sistemática y acordada, que diversifique y enriquezca el proceso de enseñanza. En definitiva, se apunta a brindar una reflexión sobre los beneficios y limitaciones de esta alternativa metodológica que sea de utilidad para los profesores.

SECUENCIA DE ENSEÑANZA

Para el tema de estequiometría consideramos a la analogía del sándwich como una de las más apropiadas por su familiaridad y su versatilidad, dado que permite aumentar gradualmente su complejidad y un buen abordaje de la ecuación química.

Esta analogía admite partir de distintos "formatos" de reactivos (por ejemplo, rodajas de pan individuales P_1 , de paquetes de dos rodajas de pan P_2 , de paquetes de tres rodajas P_3) y obtener distintos productos finales: sándwich simple (JP_2), sándwich doble (J_2P_2), etc. Otros análogos no tienen esta versatilidad. Asimismo, la analogía del sándwich de jamón evita el inconveniente que presenta la analogía del sándwich de hamburguesa, ya que el pan de hamburguesa puede confundir dado que es una unidad formada por dos tapas.

Varias secuencias metodológicas se han sugerido para enseñar con analogías, por ejemplo, la secuencia Teaching With Analogies TWA (Glynn, 1991), la guía Foco, Acción y Reflexión FAR (Harrison y Coll, 2008) y el Decálogo para enseñar con analogías (Raviolo y Garritz, 2007). En este trabajo desarrollaremos la secuencia TWA, que consta de seis pasos: (1) introducir el concepto objetivo; (2) Presentar el concepto análogo; (3) identificar características relevantes del objetivo y del análogo; (4) establecer las correspondencias de similitudes (transferir y aplicar); (5) indicar las limitaciones de la analogía, y (6) sacar conclusiones. Esta

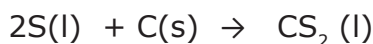
secuencia se ha utilizado por ejemplo para presentar la analogía del calendario para la tabla periódica (Oliva, 2011).

La efectividad de una analogía estará dada por el conocimiento de los atributos del análogo, el aprovechamiento que pueda hacerse de los atributos compartidos para comprender el objetivo, la profundidad de las conclusiones que se obtengan y las reflexiones metacognitivas realizadas.

(1) Introducir el concepto objetivo

La estequiometría se ocupa de los aspectos cuantitativos de la reacción química y da respuesta a preguntas como: ¿Cuántos gramos de disulfuro de carbono se pueden obtener a partir de 100 gramos de carbono y suficiente azufre? ¿Cuántos átomos de carbono se requieren para formar 200 moléculas de disulfuro de carbono?

El disulfuro de carbono (CS_2), también llamado sulfuro de carbono, es un líquido volátil, incoloro y muy inflamable. Es un buen disolvente de sustancias no polares como azufre, yodo, ceras y caucho. Se forma a alta temperatura a partir de azufre líquido y carbono sólido, según la siguiente reacción química (Chang, 2010, pág. 938):



Al igual que en la propuesta de Last (1983) para la reacción $\text{C}(\text{s}) + 2\text{S}(\text{g}) \rightarrow \text{CS}_2(\text{g})$, se asumen condiciones de reacción tales que el azufre se considera como monoatómico.

La sustancia azufre y la sustancia carbono son los *reactivos* y la sustancia disulfuro de carbono es el *producto* de la reacción. Si se interpreta esta reacción desde el nivel submicroscópico, las partículas características de los reactivos son átomos (átomos de azufre y de carbono) y la partícula característica del producto es una molécula (molécula de disulfuro de carbono). Una representación de la ecuación química utilizando representaciones de partículas podría ser:



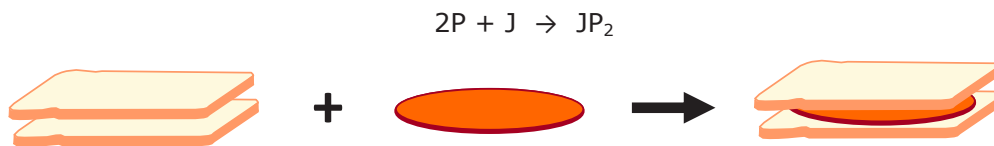
De la ecuación química ajustada se desprenden relaciones fijas entre las especies: 2 átomos de azufre reaccionan con un átomo de carbono para formar una molécula de disulfuro de carbono.

(2) Presentación del concepto análogo

En esta etapa se presenta (activa, recuerda) el concepto análogo.

Vamos a explicar el significado de estas representaciones simbólicas

(fórmulas químicas y ecuación química) a partir de la analogía de la preparación de un sándwich: dos rodajas de pan y una feta de jamón forman un sándwich de jamón:



Las unidades P y J se reagrupan para formar la unidad JP_2 o sándwich. El sándwich constituye una nueva entidad distinta al pan y al jamón. En esa ecuación se aprecia que para formar un sándwich se cumple la relación 2 a 1 ($2P$ a $1J$). Esta relación de cantidades nos permite hacer cálculos "estequiométricos".

En esta parte de la secuencia, pueden formularse preguntas como:

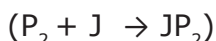
- (1) *¿Cuántas rodajas de pan se necesitan para 8 fetas de jamón?*
- (2) *¿Cuántos sándwiches se pueden preparar con 10 rodajas de pan y 5 rodajas de jamón?*

En la segunda pregunta, en la relación de cantidades, se aprecia que no sobran ni pan ni jamón, lo que constituye una situación "estequiométrica".

- (3) *¿Cuántos sándwiches se pueden preparar con 18 rodajas de pan y 12 fetas de jamón?*

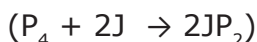
En este caso se forman 9 sándwiches y sobran 3 fetas de jamón. El pan es el "reactivo limitante" y el jamón "es el reactivo en exceso".

- (4) *¿Qué ocurrirá si los panes vienen en paquetes de dos rodajas? ¿Cuál es la "ecuación química"?*



- (5) *¿Cuántos sándwiches se pueden preparar con 8 paquetes de pan (de 2 rodajas c/u) y suficiente jamón?*

(6) Para la preparación de sándwich JP_2 , escribir la ecuación química si el pan viene en paquetes de 4 rodajas y el jamón en fetas individuales.



En este caso los reactivos son P_4 y J, y el producto JP_2 . Para que se cumpla la conservación de la masa, se tuvo que "ajustar" la ecuación para que queden la misma cantidad de rodajas de pan y fetas de jamón de cada lado. Se puede apreciar que en todos los casos, ya sea partiendo de paquetes de dos o de cuatro rodajas de pan, el "producto" sándwich siempre es el mismo.

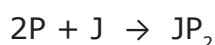
(3) Identificar características relevantes del objetivo y del análogo

En esta etapa se intenta identificar qué tienen en común el análogo y el objetivo.

Se destaca que JP_2 constituye la "fórmula" de la unidad llamada sándwich, formada por dos rodajas de pan y una feta de jamón. De la misma manera, CS_2 constituye la fórmula molecular de la molécula de disulfuro de carbono, formada por dos átomos de azufre y uno de carbono.

La definición de reacción química (para sustancias moleculares) nos indica que es un proceso en el cual los átomos que constituyen las moléculas (de los reactivos) se reagrupan de manera distinta formando nuevas moléculas (los productos). En esta reacción de síntesis, los átomos (de las sustancias elementales iniciales) se agrupan formando moléculas (del compuesto final). En el análogo, las unidades P y J se agrupan para formar la unidad JP_2 o sándwich. El sándwich constituye una nueva entidad distinta al pan y al jamón.

Esta discusión incluye: concepto de ecuación química, como representación del cambio químico, diferencia entre reactivos y productos, entre coeficientes y subíndices, entre átomo y molécula. La ecuación química es una forma abreviada y estándar de representar a una reacción química. Por lo tanto, la ecuación "química" del proceso de formación de un sándwich es:



- Identificar en la ecuación anterior los coeficientes estequiométricos y los subíndices.

(4) Establecer las correspondencias de similitudes

En esta etapa se establecen las correspondencias entre los elementos (atributos, funciones) del análogo y del objetivo.

Correspondencias: (en el simbolismo y en la proporción)

Análogo	Objetivo
$2P + J \rightarrow JP_2$	$2S + C \rightarrow CS_2$
P = rodaja de pan	S = átomo de azufre
$2P = 2$ rodajas de pan	$2S = 2$ átomos de azufre
J = feta de jamón	C = átomo de carbono
$2J = 2$ fetas de jamón	$2C = 2$ átomos de carbono
$JP_2 =$ un sándwich de jamón	$CS_2 =$ molécula de disulfuro de carbono
$2JP_2 = 2$ sándwiches	$2CS_2 = 2$ moléculas de disulfuro de carbono
relación 2 P a 1 J	relación 2 átomos de S a 1 átomo de C

Con el fin de que haya conexión con las preguntas realizadas en la etapa 2, y para seguir un paralelismo entre análogo y objetivo, se formulan 6 preguntas equivalentes:

(1) *Para la formación de disulfuro de carbono ¿Cuántos átomos de S se necesitan para combinarse con 10 átomos de carbono?*

(2) *¿Cuántas moléculas de disulfuro de carbono se obtienen con 20 átomos de azufre y 10 átomos de carbono?*

(3) *¿Cuántas moléculas de disulfuro de carbono se obtienen con 24 átomos de azufre y 17 átomos de carbono?*

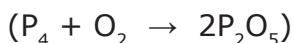
En esta instancia se puede seguir trabajando con otras ecuaciones, que también pueden ser propuestas por los alumnos partiendo de reactivos con distinta atomicidad. Como ejemplos, se pueden ejercitar los siguientes:

(4) *¿Cuál es la ecuación química para la síntesis del dióxido de azufre en condiciones en las que el azufre se presenta monoatómico y la molécula de oxígeno diatómica?*



(5) *¿Cuántas moléculas de dióxido de azufre se forman a partir de 25 moléculas de oxígeno y suficiente azufre?*

(6) *El fósforo (tetraatómico) reacciona con el oxígeno (diatómico) para formar P_2O_5 . Escribir la ecuación química ajustada correspondiente.*



Como puede observarse, esta etapa incluye actividades de transferencia y aplicación, procesos que pueden corroborarse con múltiples ejercicios que permitan verificar si los alumnos no están resolviendo "mecánicamente". En ese sentido, algunas sugerencias útiles son:

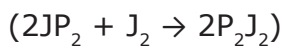
- *Leer la siguiente ecuación química diferenciando los conceptos de: reactivos y productos; átomo y molécula; coeficiente y subíndice. La molécula de fósforo (P) es tetraatómica.*



- *Completar la tabla siguiente con el análogo. Siendo P: rodaja de pan, J: feta de jamón y JP_2 el sándwich.*

orden	análogo	objetivo
1	$2P + J \rightarrow JP_2$	$2S + C \rightarrow CS_2$
2		$O_2 + C \rightarrow CO_2$
3		$2H_2 + O_2 \rightarrow 2H_2O$
4		$4O_3 + 3N_2 \rightarrow 6NO_2$

- Suponer que ahora se desean preparar sándwiches con dos fetas de jamón, su fórmula sería P_2J_2 ; P = rodaja de pan y J = feta de jamón. Los sándwiches dobles se prepararán desarmando los simples (JP_2) y combinándolos con paquetes de dos fetas de jamón. ¿Cuál será la "ecuación química" de este proceso?



A partir de esta "ecuación" pueden realizarse preguntas del tipo:

- ¿Cuántos sándwiches dobles de jamón se pueden hacer a partir de 12 sándwiches simples y 5 paquetes de dos fetas de jamón?

- El proceso anterior es análogo a la reacción entre el agua (H_2O) y el oxígeno (O_2) para producir peróxido de hidrógeno (agua oxigenada: H_2O_2) Escribe la ecuación química de esta reacción.

(5) Indicar las limitaciones de la analogía

En esta etapa se explicitan las limitaciones (o no correspondencias) de la analogía, es decir dónde la analogía falla. A nuestro criterio las limitaciones más importantes de la analogía del sándwich son:

- El pan y el jamón no reaccionan. No hay fuerzas o "uniones químicas" que mantengan unidas a las rodajas de pan entre sí, ni al pan con el jamón. Tampoco hay ruptura y recombinación de enlaces como se requiere para toda reacción química.
- En el análogo, con dos rodajas de pan y una feta de jamón se prepara un sándwich de jamón y con una bolsa de dos rodajas de pan y una feta de jamón también. El ingrediente pan es la misma especie (solo cambia el envase) y se obtiene el mismo producto. En cambio en el objetivo, el cambio de la atomicidad significa un cambio de especie, un cambio de sustancia. Por ejemplo, la sustancia oxígeno (O_2) no es la misma que el ozono (O_3).

Si se profundiza en las relaciones estequiométricas que pueden construirse a partir de la analogía, se presenta otra limitación cuando se prepara una sándwich con una bolsa de 4 rodajas de pan y una feta de jamón, ya que se puede hacer un sándwich y sobrarían dos rodajas de pan. Esto podría representarse como: $(P_4 + J \rightarrow JP_2 + 2P)$. Esta no es la ecuación química correcta. La ecuación química representa la relación más simple entre reactivos y productos, empleando números enteros y sin expresar cantidades en exceso. La ecuación "química" correcta es: $(P_4 + 2J \rightarrow 2JP_2)$. Empleando la ecuación química se analizan las cantidades iniciales y se determina si están en proporción estequiométrica o si hay algún reactivo limitante. De la misma manera con una molécula de hidrógeno y una molécula de oxígeno se puede formar una molécula de agua y sobra un átomo de oxígeno ($H_2 + O_2 \rightarrow H_2O + O$). Esta no es

la ecuación química y deben evitarse escribir ecuaciones de este tipo. Además, en este caso en particular, el producto O atómico no existe.

(6) Sacar conclusiones.

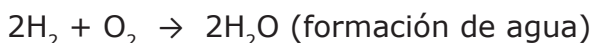
El propósito de emplear la analogía es aprovechar las relaciones establecidas entre análogo y objetivo para mejorar la comprensión del objetivo. Esta comprensión debería ser útil para realizar predicciones correctas ante nuevas situaciones.

Generalmente, con el tratamiento superficial de las analogías, no se suele dedicar tiempo a "cerrar" una actividad con ellas, a sacar provecho didáctico reconstruyendo lo realizado y extrayendo conclusiones conceptuales. Esto es en gran medida una actividad metacognitiva.

El análogo es apropiado por las correspondencias que se pueden establecer, como las relacionadas con el simbolismo, la relación proporcional y los conceptos de reactivo limitante y en exceso pero también resulta de utilidad cuando se analizan sus limitaciones

Sacar conclusiones de la analogía empleada en este trabajo conlleva varios procesos, uno de ellos, el más simple e inmediato, está relacionado con la proporción entre reactivos o la idea de un reactivo que se agota en la reacción química. Otros procesos requieren aún mayor abstracción porque consisten en extraer el concepto superordinario (Duit, 1991), el modelo o estructura que subyace entre el análogo y el objetivo. Poner en palabras "lo común" no es una actividad sencilla dado que se trata de expresar un concepto abstracto, la esencia de la comparación analógica.

Abstraer a partir de la analogía presentada va más allá de identificar la relación proporcional estequiométrica puesto que este ejercicio también se vincula con la comprensión de la ecuación química. Considerando por ejemplo las siguientes ecuaciones químicas y ecuaciones análogas:



En estos ejemplos, subyace la idea de que las ecuaciones constituyen expresiones de igualdad en la que cada tipo de unidad (J, P; O, H) se encuentra en igual número de cada lado de la ecuación. Estas unidades pueden encontrarse formando parte de entidades que tienen una composición definida (JP_2 ; H_2O). Una vez establecida la igualdad (ajustada la ecuación química), se pueden plantear además relaciones cuantitativas entre las entidades expresadas en la misma.

Si bien esta propuesta hace hincapié en seguir una secuencia de ense-

ñanza con analogías, puede ocurrir también que algún estudiante logre determinar el reactivo limitante y en exceso e incluso hallar la cantidad de éste último, sin necesidad de partir de la ecuación química, siguiendo otros razonamientos, como por ejemplo analizando la fórmula del producto en reacciones de síntesis. Por ello, y como conclusión adicional del trabajo realizado con analogías, se generaliza y propone un procedimiento para abordar preguntas o problemas de estequiometría. Se trata de una regla, que se espera que actúe como control metacognitivo, es decir, su finalidad es que los alumnos reflexionen y tomen conciencia sobre los nuevos conceptos que incorporaron y las dificultades que surgieron durante su aprendizaje. Los pasos sugeridos son:

1. identificar las sustancias que participan, reactivos y productos
2. escribir sus fórmulas químicas (notar que no cambian cuando se ajusta la ecuación)
3. ajustar la ecuación química (verificar la igualdad de unidades en cada lado)
4. resolver las situaciones a partir de la ecuación química ajustada, planteando relaciones entre dos especies involucradas

Las distintas situaciones, con diferentes cantidades iniciales de reactivos, se analizan desde la ecuación química única, en la que no debe figurar como producto la sustancia que está en exceso.

En esta etapa el docente promueve la explicitación de las conclusiones propias de los estudiantes, la puesta en común de las mismas y presenta para su discusión las conclusiones expresadas en este apartado, referidas al concepto superordinario y al procedimiento a seguir.

DISCUSIÓN

Con el objetivo de trabajar con relaciones estequiométricas con unidades de masa (gramos y moles) también suelen utilizarse ejemplos de analogías como la siguiente:

- Para la preparación del sándwich simple $2P + J \rightarrow JP_2$, si una rodaja de pan pesa 20 gramos y un feta de jamón pesa 15 gramos, ¿cuántos sándwiches se pueden hacer con 600 gramos de pan y 300 gramos de jamón? ¿qué faltó? ¿qué sobró?

Un ejemplo con una reacción química, puede ser:

- ¿Cuántos gramos de disulfuro de carbono se formarán si se mezclan 450 gramos de azufre con 60 gramos de carbono? ¿Cuál es el reactivo limitante y cuál es el reactivo en exceso? ¿Qué cantidad de reactivo hay en exceso?

Incluir cálculos con moles y gramos conlleva a una serie de reflexiones

y la mención de una de las principales limitaciones que tiene esta analogía. Esta limitación deriva del hecho de que la ecuación química puede leerse en términos microscópicos (sub micro) o macroscópicos (macro), es decir, en términos de átomos y moléculas (para las sustancias moleculares) y en términos de moles (o su equivalente en gramos), respectivamente. En cambio, con el análogo no puede cumplirse con esta doble lectura de la ecuación. En la ecuación química, para pasar de un nivel a otro, es decir, del nivel sub micro al macro, es necesario considerar un número muy grande de partículas, el número de Avogadro ($6,022 \times 10^{23}$ partículas/ mol). En el análogo la imagen de un sándwich se corresponde con la de una molécula, sin embargo se asume que el sándwich pesa como la masa molar. Esto puede inducir a pensar erróneamente que una partícula (átomo, molécula, ion) pesa la masa molar ("un átomo de carbono tiene una masa de 12 gramos", "una molécula de hidrógeno tiene una masa de 2 gramos").

Teniendo en cuenta esta limitación, al emplear este tipo de analogías se recomienda no incluir cálculos en moles y/o gramos, lo que limita la utilidad de las mismas, o bien realizar un planteo analógico como el que se desarrolla a continuación.

Si el número de Avogadro es el puente entre lo submicro y lo macro, se puede utilizar el camino análogo a partir de la metáfora "el mol es la docena del químico". De este modo, se plantea la situación en que los insumos para preparar sándwiches se compran en un almacén mayorista "todo por docena", en donde se pueden adquirir por docenas rodajas individuales o paquetes de dos, tres o cuatro unidades. Los planteos deben hacer hincapié en la lectura de los coeficientes de la ecuación análoga como números de docenas.

Aunque esta analogía de la docena podría reforzar la idea errónea del concepto de mol que lo considera como un número y no como cantidad de sustancia, en el contexto de esta secuencia didáctica introductoria resulta muy útil. Abordando el planteo con esta metodología quedaría entonces:

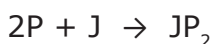
- ¿Cuántas docenas de sándwiches simples se pueden formar con 10 docenas de paquetes de cuatro rodajas de pan y 15 docenas de paquetes de dos fetas de jamón?

A partir de la ecuación $P_4 + J_2 \rightarrow 2JP_2$ se infiere que una docena de P_4 se combina con una docena de J_2 .

Esta situación puede servir de punto de partida para trabajar con cantidades de sustancia (moles) en la siguiente reacción química:

- ¿Cuántos moles de disulfuro de carbono se pueden formar con 10 moles de carbono y 12 moles de azufre?

Posteriormente, pueden presentarse otros problemas donde se le asignan las masas a las docenas. Por ejemplo, para la preparación:



- ¿Qué masa de sándwiches JP_2 se pueden obtener si se cuenta con 720 gramos de pan y 300 gramos de jamón? La docena de rodajas de pan pesa 240 g, la docena de fetas de jamón pesa 180 g, la docena de sándwiches simples pesa 660 g.

El planteo para su resolución parte de la siguiente relación: 2 docenas de P es a 1 docena de J o bien en masas, 480 g de P es a 180 g de J. De allí se deduce cuál es el reactivo limitante y cuál está en exceso. Siendo el pan el reactivo limitante, el razonamiento puede continuar de la siguiente manera: 2 docenas de pan producen 1 docena de sándwiches, 480 g de pan producen 660 g de sándwiches; 720 g de pan producirán entonces 990 g de sándwiches.

Análogamente, para el caso de la reacción de obtención del disulfuro de carbono será:

- ¿Cuántos gramos de disulfuro de carbono se pueden obtener con 640 g de azufre y 150 g de carbono? La masa molar del S es 32 g/mol, la masa molar del C es 12 g/mol y la masa molar de CS_2 es 76 g/mol.

Este abordaje de la analogía puede resultar algo forzado, más aún si previo a ello no se introdujo un procedimiento que permita consolidar la resolución de situaciones desde la ecuación química o desde la ecuación análoga, respectivamente. A pesar de ello, en esta instancia, y con ejemplos como los mencionados, es muy oportuno generar el debate sobre conceptos clave como: diferencia entre masas atómicas y masas molares, números de átomos y de moles, etc.

CONCLUSIONES

En este artículo se presentó un desarrollo, no ingenuo y basado en señalamientos realizados por la investigación en didáctica de las ciencias, para enseñar algunos conceptos del tema estequiometría empleando analogías. Para ello se seleccionó un análogo accesible, en cuanto al nivel de abstracción y familiaridad con el mismo, no perdiendo de vista que una presentación superficial o no sistemática con analogías, sin un encuadre metodológico adecuado, tanto de profesores como de autores de textos, puede promover concepciones erróneas.

La propuesta pretende diversificar la metodología frecuente, basada exclusivamente en la resolución de ejercicios, y lograr motivación en los alumnos.

El trabajo con la analogía se debe orientar a facilitar, especialmente, la

comprensión profunda del significado de las fórmulas químicas y de la ecuación química. Como se señaló en el ejemplo de la preparación del sándwich simple, ($2P + J \rightarrow P_2J$), como análogo de la reacción ($2S + C \rightarrow CS_2$). Lo importante además es discutir la diferencia entre reactivos y productos, entre coeficientes y subíndices, entre átomos y moléculas, como así también de la proporción estequiométrica 2 a 1. La versatilidad del análogo seleccionado permite el planteo de situaciones donde los panes pueden presentarse en bolsitas de dos o más, dando lugar a distintas relaciones estequiométricas entre los reactivos.

El hecho de que la representación simbólica del fenómeno, la ecuación química, pueda interpretarse desde los otros dos niveles, el submicro y el macro (tal como lo hacen todos los textos universitarios consultados), le suma complejidad a la temática. En todos los casos es necesario discutir con mucha profundidad las limitaciones que tiene la analogía en este aspecto y a las confusiones que podría inducir.

El valor de la secuencia está en la identificación de los atributos compartidos del análogo, en el establecimiento de las correspondencias para comprender el objetivo, en el paralelismo (análogo –objetivo) para la formulación de problemas, en la reflexión sobre los atributos no compartidos y, fundamentalmente, en la profundización y explicación de las conclusiones que se obtienen. Se pone especial énfasis en la expresión del concepto superordinario subyacente (que incluye al análogo y al objetivo como subordinados) y en la formalización de un procedimiento general para abordar los problemas, en el que las distintas situaciones, con diferentes cantidades iniciales de reactivos, se analizan desde la ecuación química única.

La presentación de cuadros con las correspondencias, como el mostrado en la etapa 4, junto con imágenes del análogo y del objetivo, pueden ayudar a disminuir la sobrecarga en la demanda cognitiva que producen los razonamientos analógicos complejos. Otras reflexiones metacognitivas también pueden contribuir en este proceso de aprendizaje, como la toma de conciencia de que se está empleando una analogía, el conocimiento sobre la naturaleza del pensamiento analógico y las posibilidades de optimizarlo, la existencia de correspondencias/ limitaciones y la necesidad de exteriorización permanente de conclusiones.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Chang, R. (2010). *Química*. 10^o edición. Mc Graw Hill: México.
- Duit, R. (1991). On the role of analogies and metaphors in learning science, *Science Education*, 75(6), 649-672.

- Gauchon, L y Méheut, M. (2007). Learning about stoichiometry: from students' preconceptions to the concept of limiting reactant. *Chemistry Education Research and Practice*, 8(4), 362-375.
- Glynn, S. (1991). Explaining science concepts: a teaching with analogies model. En Glynn y otros (eds.). *The psychology of learning science*, Hillsdale, Erlbaum.
- Harrison, A. y Coll, R. (eds.) (2008). *Using analogies in middle and secondary science classrooms*, California, Corwin Press.
- Last, A. (1983). A bloody nose, the hairdresser's salon, flies in an elevator, and dancing couples: the use of analogies in teaching introductory chemistry. *Journal of Chemical Education*, 60(9), 748-750.
- Oliva, J. M. (2011). Cómo usar analogías en la enseñanza de modelos y de los procesos de modelización en ciencias. *Alambique*, 69, 80-91.
- Pinto, G. y León, S. (2009). Estequiometría i vida cotidiana. *EduQ*, 3, 29-36.
- Raviolo, A. (2011). TICs y enseñanza de la química: estequiometría con la barra de desplazamiento. *Educación en la Química*, 17(2), 101-110.
- Raviolo, A. y Garritz, A. (2007). Uso de analogías en la enseñanza de la química: necesidad de elaborar decálogos e inventarios. *Alambique*, 51, 28-39.
- Raviolo, A. y Lerzo, G. (2014). Analogías en la enseñanza de la estequiometría: revisión de páginas web. *Revista Electrónica de Investigación en Educación en Ciencias*, en prensa.
- Sanger, M. (2005). Evaluating students' conceptual understanding of balanced equations and stoichiometric ratios using particulate drawing. *Journal of Chemical Education*, 82(1), 131-134.
- Yarroch, W. (1985). Student understanding of chemical equation balancing. *Journal of Research in Science Teaching*, 22(5), 449-459.