

Dificultades que presentan los estudiantes de Ingeniería Química de la UNRC para el aprendizaje de la Estequiometría

Claudia Alejandra Solis

IITEMA, Departamento de Química, Facultad de Ciencias Exactas, Físico-Químicas y Naturales
Universidad Nacional de Río Cuarto-CONICET,
csolis@exa.unrc.edu.ar
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9767-0657>

Matías Ezequiel Scorsetti

Departamento de Ciencias Básicas, Facultad de Ingeniería
Universidad Nacional de Río Cuarto
mscorsetti@ing.unrc.edu.ar
ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-0634-7754>

Resumen

El aprendizaje de la Estequiometría en Química, es un proceso complejo que requiere abordar los fenómenos en tres niveles de representación: sensorial, simbólico y de partículas. Este trabajo pretendió identificar algunas dificultades que presentan los estudiantes para el aprendizaje de estequiometría durante el primer año de la carrera de Ingeniería Química. Para ello, se analizaron sus respuestas frente a un problema tradicional y otro conceptual, cuyas resoluciones implicaron el uso de diferentes formatos de lenguaje químico. Los resultados reflejan que los jóvenes, a pesar de saber balancear la ecuación química, no parecen comprender la relación entre el nivel simbólico (ecuación química) y la determinación del reactivo limitante a partir de cálculos y/o su identificación en diagramas de partículas. Este análisis, permite reflexionar sobre la importancia de la comprensión de la representación de la materia en los tres niveles, como así también del discurso empleado para transmitir los diferentes conceptos para favorecer el aprendizaje.

Palabras clave: Dificultades en el aprendizaje, Estequiometría, Lenguaje químico.

Difficulties presented by UNRC Chemical Engineering students for learning Stoichiometry

Abstract

In chemistry, the learning of stoichiometry is a complex process that can be represented in three main ways: tangible, symbolic and of particles. This work aim to identify some first-year chemical engineering students' difficulties related to learning of stoichiometry. These tasks required the use of two types of problems: conceptual and traditional written in different chemical languages. Most of the students know how to balance chemical equation, however apparently they do

not understand the relationship between symbolic level (chemical equation) and determination of limiting reactant from algorithms and/or particle diagrams. This analysis allows us to reflect on the importance of understanding the representation of the subject at the three levels, as well as the discourse used to transmit the different concepts to promote learning.

Keywords: Learning difficulties, Stoichiometry, Chemical language

Introducción

Química en el primer año de la Universidad

Muchas de las carreras universitarias con orientación científico-tecnológica contemplan en su plan de estudios cierta formación en química. Los estudiantes para aprender química deben comprender (y saber usar) conceptos y principios con un cierto grado de abstracción. Además, saber química implica asimilar un lenguaje especializado (Lemke, 1997; Bermudez et al., 2015; Galagovsky et al., 2014; Quilez Pardo, 2016). Por otra parte, los jóvenes como estudiantes en su primer año de universidad (ingresantes) atraviesan un punto crítico de la transición entre el nivel medio y el superior. Si se compara con otras etapas de formación, se puede observar un porcentaje de deserción muy elevado en esta instancia. En el caso particular de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Río Cuarto (UNRC), se registra un índice de abandono durante el primer año que oscila entre el 31% y el 42% para el periodo 2017-2021.¹ Esta problemática, ya detectada a nivel institucional, presenta causas variadas y complejas que van desde una falta de madurez socio-afectiva, confusión en la elección de la carrera y aspectos de naturaleza cognitivas. Para superar este último obstáculo, los ingresantes deben constituirse en su rol de estudiantes, un proceso obvio, pero a la vez inadvertido, que implica tiempo, esfuerzo y dedicación (Alcoba, 2017).

El Aprendizaje de la Química

En el campo de investigación de la didáctica de la química, varios autores (Galagovsky et al., 2003; Ordaz González y Britt Mostue, 2018; Raviolo y Lerzo, 2016; Talanquer, 2012) retoman y trabajan las ideas de Johnstone (1982, 1991) sosteniendo que una comprensión profunda de los conceptos y relaciones de la disciplina puede lograrse desarrollando tres niveles de pensamiento: macroscópico, submicroscópico y simbólico. Un abordaje de cada temática desde los tres ángulos es necesario para que los estudiantes generen un pensamiento multinivel, ya que suelen estancarse en uno de los vértices de este triángulo. Desde la perspectiva de los lenguajes químicos, Galagovsky et al. (2014) analizan y reflexionan cómo el discurso del docente experto (simplificado con la intención de hacerse entender) puede generar modelos mentales diferentes o como denomina De Longhi (2018) *concepciones alternativas* en los estudiantes que los lleva a cometer errores. El discurso químico contempla el plano lingüístico de la comunicación de la ciencia y puede tener diferentes formas: verbal, gráfico, matemático y de fórmulas, con códigos y formatos sintácticos específicos (Galagovsky y Giudice, 2015). Dentro del aula, el estudiante debe hacer un gran esfuerzo cognitivo para comprender este nuevo lenguaje, conceptos abstractos y procedimientos matemáticos.

El presente escrito corresponde al resumen extendido de un trabajo final desarrollado en el marco de la *Diplomatura Superior en Enseñanza de Las Prácticas Experimentales en Ciencias* que se dicta en la UNRC. Dicho

¹ Información suministrada por el Registro de Alumnos de la Facultad de Ingeniería, UNRC.

trabajo pretende ser un primer acercamiento a las dificultades detectadas en el aprendizaje del tema Estequiometría. Además, se espera que tenga un impacto positivo y de reflexión sobre el proceso de enseñanza, dado que ambos procesos (el docente que enseña y el estudiante que aprende) no son aislados, más bien son sincrónicos y dinámicos.

Dificultades en el aprendizaje de la Estequiometría

Si la química fuera una empresa, la estequiometría se podría corresponder a la parte contable, donde se hacen balances, se establecen relaciones entre materia prima - productos y se realizan conversiones (valor monetario). Con esta pequeña metáfora se pretende exponer cómo la Estequiometría aborda el aspecto cuantitativo del cambio químico sobre una base cualitativa. El estudio de la Estequiometría implica la comprensión de ciertos conceptos como: fórmula, reacción, ecuación, reactivo (limitante y en exceso), producto, rendimiento, subíndice y coeficiente estequiométrico, para tener un entendimiento más significativo de la materia. Galagovsky y Giudice (2015) y Talanquer (2012) empleando consignas algorítmicas y conceptuales en sus trabajos revelan de forma preocupante que alumnos que resuelven bien problemas empleando algoritmos o ecuaciones, no siempre comprenden los conceptos químicos involucrados.

Por estos motivos, los interrogantes ¿Qué dificultades presentan los estudiantes a la hora de aprender Estequiometría? ¿Cuáles pueden ser algunas de las posibles causas de dichas dificultades? son frecuentes en el ámbito educativo y reflejan la importancia de la investigación en esta temática.

Entonces, con la intención de avanzar en el análisis del proceso de aprendizaje de la Estequiometría en el ámbito universitario, este trabajo consistió en el diseño de dos situaciones problemáticas diferentes para relevar información sobre las dificultades en el aprendizaje del tema. Estos problemas, se implementaron en un grupo de estudiantes de primer año de la carrera de Ingeniería Química, que cursan la asignatura de Química General en la UNRC.

Metodología

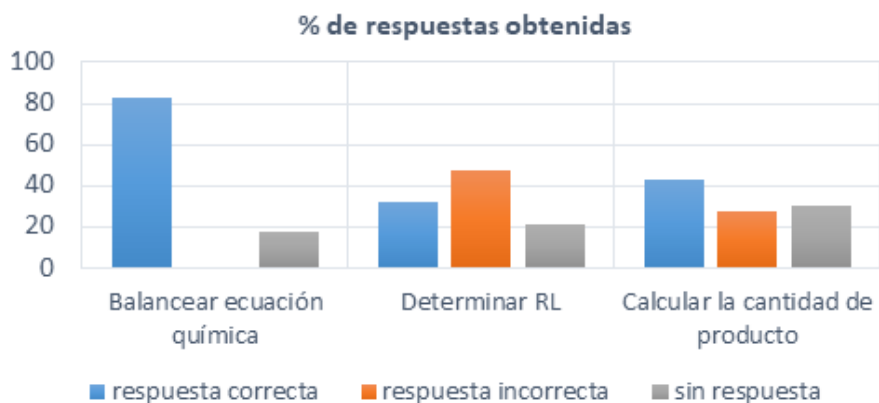
Para responder a los interrogantes antes planteados, se desarrolló una propuesta de investigación cuantitativa de corte interpretativo (Hernández Sampieri et al., 2010). Se diseñaron dos problemas sobre Estequiometría con niveles de comprensión y resolución diferentes y se analizaron las respuestas de un grupo de treinta y cinco (35) estudiantes de primer año, de la carrera Ingeniería Química, luego de abordado el tema en clase. Se planteó un ejercicio tradicional (Anexo I) y otro conceptual (Anexo II), que implicaron el manejo de diferentes lenguajes: verbal, gráfico y de fórmulas químicas (Galagovsky y Giudice, 2015).

Resultados y Discusión

Problema tradicional: En la Figura 1 se grafican los resultados correspondientes al primer ejercicio (Anexo I). Es un problema de resolución numérica y tiene tres instancias: balancear la ecuación química, determinar el reactivo limitante (RL) y calcular la masa de producto formado.

Figura 1

Gráfico de respuestas obtenidas sobre la consigna tradicional (Anexo I). RL= reactivo limitante.



Los errores principales que fueron detectados en esta primera instancia se condicen con los reportados por otros autores y pueden resumirse como sigue:

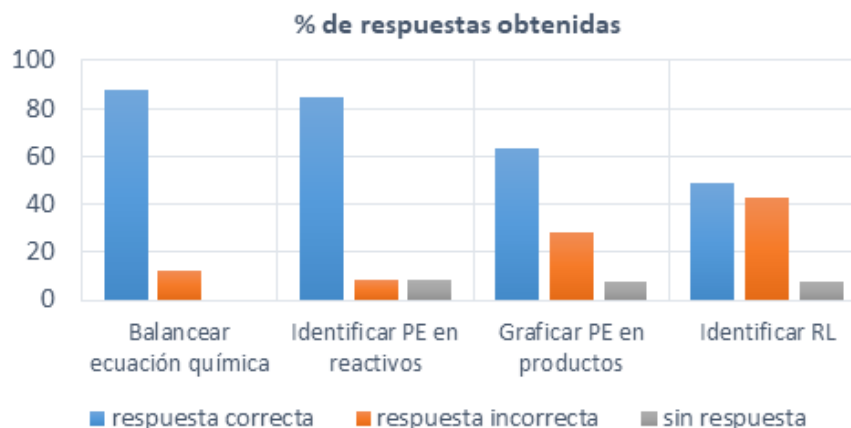
- El estudiante identificó como RL al reactivo que se encuentra en menor proporción estequiométrica o en menor cantidad disponible (sin tener en cuenta la ecuación química). Por estos motivos, se infiere que algunos jóvenes no pueden comprender claramente la diferencia entre cantidad de reactivo disponible y cantidad necesaria para una reacción completa (Huddle y Pillay, 1996 en Raviolo 2017)
- Planteamiento de reglas de tres simples que resultaron ser confusas en las relaciones plantadas, pues mezclaron cantidades sin sentido alguno. (Frazer y Servant, 1987 en Raviolo y Lerzo 2016).

Problema conceptual: El ejercicio (Anexo II) tiene cuatro instancias para su resolución: (i) balancear la ecuación química; (ii) identificar la proporción estequiométrica (PE) de reactivos entre distintos diagramas de partículas; (iii) graficar un diagrama que presente PE respecto a los productos (iv) a partir de un esquema dado, identificar el RL y desarrollar una explicación por escrito. A continuación, se detallan los porcentajes de respuestas obtenidas en cada inciso (Figura 2).

Figura 2

Gráfico de las respuestas obtenidas sobre el segundo problema (Anexo II).

PE= proporción estequiométrica; RL= reactivo limitante.

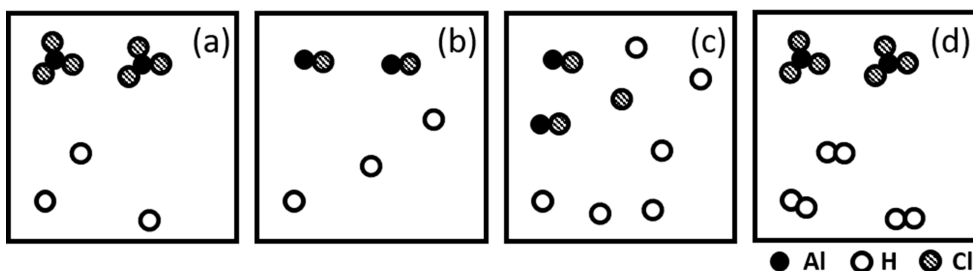


En general, los porcentajes de respuestas correctas del ejercicio conceptual resultaron ser más alentadores en comparación con los del problema tradicional, aunque en la identificación correcta del RL se obtuvo un porcentaje similar en ambas situaciones (47-49%). Solo una fracción de estudiantes que identificaron el diagrama con una PE de reactivo correcta (opción C- Anexo II-ii) pudo producir un diagrama aceptable con una PE de producto (Anexo II- iii). En la Figura 3 se ilustran algunos de los dibujos realizados donde también se esquematiza la respuesta correcta (Figura 3-d). Se pudieron observar casos (Figura 3-a-c) donde los compuestos (hidrogeno y cloruro férrico) no responden a su fórmula química. En este sentido, se aprecia que el modelo de átomo-molécula resulta un concepto relevante que amerita un abordaje con mayor detalle para poder diferenciarlos entre sí.

A partir del análisis de la justificación escrita en las respuestas incorrectas, se encontraron resultados que concuerdan con uno de los errores detectados en el ejercicio tradicional: los estudiantes identifican como reactivo limitante al que está disponible en menor cantidad. También, algunas respuestas no reconocieron al HCl como una molécula sino como entidades separadas y se refirieron al Cl como RL. Este hecho refleja otra de las dificultades reportada por otros autores: falta de comprensión de las fórmulas químicas en términos de partículas (Yarroch, 1985 en Raviolo y Lerzo 2016).

Figura 3

Esquemas desarrollados por los estudiantes respondiendo a la consigna (iii) del problema conceptual. El esquema (d) corresponde a la respuesta correcta.



Otro punto a considerar es el hecho de que gran parte de las explicaciones desarrolladas por los alumnos hayan sido en términos de moles en lugar de átomos y moléculas. Se infiere que la razón principal se debe a que, en el aula, el concepto de mol ocupa un lugar predominante frente a los otros dos y esto genera interpretaciones equivocadas como las antes mencionadas. Además, el mol² resulta un concepto difícil de comprender por los estudiantes, dado que su conocimiento pertenece al ámbito puramente científico y su uso no resulta intuitivo. Una visión clara y diferenciada del concepto mol, sumado al planteamiento y resolución de ejercicios que aborden el lenguaje gráfico y su interpretación, serían puntos de partida importantes para contribuir a aprendizajes más íntegros y correctos de la Estequiometría.

Conclusiones

Este trabajo tuvo la finalidad de identificar qué dificultades presentan los estudiantes a la hora de aprender Estequiometría cuando cursan la asignatura Química General en la carrera de Ingeniería Química en la UNRC e inferir cuáles pueden ser algunas de las causas de dichas dificultades.

Para ello, se les propusieron a los estudiantes dos situaciones problemáticas, una tradicional y otra conceptual, que implicaron diferentes modos de resolución. En ambos casos, los estudiantes mostraron dificultades para

2 Se define como la unidad de la magnitud "cantidad de sustancia". La cantidad de sustancia es una magnitud macroscópica relacionada directamente con el nivel submicro de las sustancias químicas (contar partículas) (Furió Más, 1999; Martínez et al., 2002).

determinar/identificar el reactivo limitante a pesar de saber balancear la ecuación química. Muchos jóvenes no parecieron comprender la relación entre la representación a nivel simbólico (ecuación química) y la determinación del reactivo limitante a partir de cálculos (47%) o la identificación a partir de la interpretación de diagramas de partículas (43%).

Sumado a lo anterior, el uso de un lenguaje gráfico y el desarrollo de una pequeña explicación escrita por parte de los estudiantes, constituyen herramientas poco utilizadas en clase y esto se vio reflejado en el bajo porcentaje de respuestas correctas en el segundo problema (49-60%). Por estos motivos, se insiste en emplear este tipo de ejercicios en clase puesto que permiten explorar los distintos niveles y superar visiones incorrectas de los modelos, que a partir de ejercicios tradicionales no es posible.

Otra de las dificultades identificadas, se vinculan al escaso manejo del lenguaje gráfico de las fórmulas químicas -como modelo de partículas- (40%) y un predominio del término mol (en lugar de átomo o molécula) en los discursos de los estudiantes (59%). Se sugiere reforzar esta clase de análisis en clase y sumarle el abordaje del concepto mol (y de la magnitud que representa) desde una nueva perspectiva histórica, que permitan, por un lado, favorecer la comprensión íntegra del concepto, y por el otro, relacionar el lenguaje verbal, de fórmulas y gráfico (Furió Más et al., 1999; Martínez et al., 2002).

A partir de los resultados obtenidos y de acuerdo con los modelos desarrollados sobre la enseñanza de la Química, se puede señalar la importancia de analizar la comprensión de la representación de la materia en los niveles simbólico, macroscópico y submicroscópico, así como también el discurso empleado para comunicar los conceptos para favorecer el aprendizaje de los mismos. Aún resta un camino más profundo de analizar, en donde los resultados preliminares aquí obtenidos, sirvan de antecedentes para ampliar nuevos horizontes, generar nuevos interrogantes y situaciones. Además, de esta manera contribuir, por un lado, a contextualizar y mejorar la enseñanza del tema, y por el otro, lograr aprendizajes de calidad en los estudiantes.

Referencias bibliográficas

- Alcoba, M. (2017). Leer y escribir química: Retos para construir el oficio de estudiante. En R. Amieva y A. Vázquez (coord.), *Leer y escribir en las disciplinas: Diseños de intervenciones didácticas en las aulas universitarias*, (pp. 12-31). UniRío Editora.
- Bermudez, G. M. A., De Longhi, A., Martínez, M. S. y Rivero, M. E. (2015). *Estrategias didácticas para enseñar biología*. UNC.
- De Longhi, A. L. (2018). *Fundamentos para la enseñanza de la biología: Concepciones alternativas, transposición y comunicación*. Universidad Nacional de Córdoba. Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales.
- Furió, C. J., Azcona, R. y Guisasaola, J. (1999). Dificultades conceptuales y epistemológicas del profesorado en la enseñanza de los conceptos de cantidad de sustancia y de mol. *Enseñanza de las Ciencias*, 17 (3), 359-376. <https://raco.cat/index.php/Ensenanza/article/view/21588/21422>
- Galagovsky, L. R., Rodríguez, M. A., Stamatí, N. y Morales, L. F. (2003). Representaciones mentales, lenguajes y códigos en la enseñanza de ciencias naturales. Un ejemplo para el aprendizaje de concepto de "reacción química" a partir del concepto de "mezcla". *Enseñanza de las Ciencias*, 21 (1) 107-121. <https://raco.cat/index.php/Ensenanza/article/view/21898/21731>
- Galagovsky, L. R., Bekerman, D., Giacomo, M. A. D. y Alí, S. (2014). Algunas reflexiones sobre la distancia entre "hablar química" y "comprender química". *Ciência & Educação (Bauru)*, 20 (4), 785-799. <https://doi.org/10.1590/1516-73132014000400002>
- Galagovsky, L. y Giudice, J. (2015). Estequiometría y ley de conservación de la masa: una relación a analizar desde la perspectiva de los lenguajes químicos. *Ciência & Educação (Bauru)*, 21 (1), 85-99. <https://doi.org/10.1590/1516-731320150010006>
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C. y Baptista Lucio, M. P. (2010). *Metodología de la investigación*. México: Macgraw-Hill.
- Johnstone, A.H. (1982). Macro and micro chemistry. *School Science Review*, 64 (227), 377-379.
- Johnstone, A. H. (1991). Why is science difficult to learn? Things are seldom what they seem. *Journal of Computer Assisted Learning*, 7(2), 75-83.
- Lemke, J. L. (1997). *Aprender a hablar ciencia: lenguaje, aprendizaje y valores*. Barcelona: Paidós. [Publicación original en inglés en 1990].
- Martínez, A., Ruiz, A. G., Millán, G. H. y Silva, L. G. (2002). El mol: un concepto evasivo. Una estrategia didáctica para enseñarlo. *Alambique: Didáctica de las Ciencias Experimentales*, (33), 99-110.
- Ordaz González, G. J. y Britt Mostue, M. (2018). Los caminos hacia una enseñanza no tradicional de la química. *Actualidades Investigativas en Educación*, 18(2), 559-579. <http://dx.doi.org/10.15517/aie.v18i2.33164>

- Quilez Pardo, J. (2016). ¿Es el profesor de Química también profesor de Lengua? *Educación Química*, 27(2), 105-114. <https://doi.org/10.1016/j.eq.2015.10.002>
- Raviolo, A. y Lerzo, G. (2016). Enseñanza de la estequiometría: uso de analogías y comprensión conceptual. *Educación Química*, 27(3), 195-204. <https://doi.org/10.1016/j.eq.2016.04.003>
- Raviolo, A. (2017). Simulando estequiometría con la hoja de cálculo: uso de la barra de desplazamiento. *Journal of Science Education*, 18(1), 31-34.
- Talanquer, V. (2012). Chemistry education: ten dichotomies we live. *Journal of Chemical Education*, 89(11), 1340-1344. <https://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/ed300150r>

Anexos

Anexo I

Problema tradicional

Considere la siguiente reacción:

$$\text{Al(s)} + \text{HCl} \rightarrow \text{AlCl}_3(\text{ac}) + \text{H}_2(\text{g})$$

Se hace reaccionar 0,5 g de Al con 500 mL de una solución de ácido clorhídrico 3 M

- Balancear la reacción
- ¿Cuál es el reactivo limitante?
- Calcule los gramos de H_2 producidos

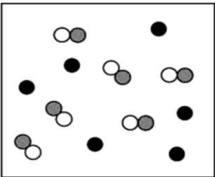
Anexo II

Problema conceptual. Ejercicio de interpretación de modelo de partículas.

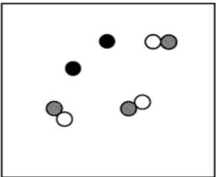
Considere la siguiente reacción:

$$\text{Al(s)} + \text{HCl} \rightarrow \text{AlCl}_3(\text{ac}) + \text{H}_2(\text{g})$$


- Balancear la reacción
- Indicar de los siguientes esquemas cual/es corresponde/n a una proporción estequiométrica de los reactivos
- Dibujar un esquema donde los productos se encuentran en proporción estequiométrica
- A partir del siguiente esquema correspondiente al estado inicial

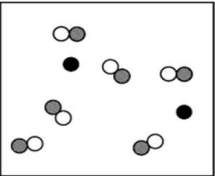


A

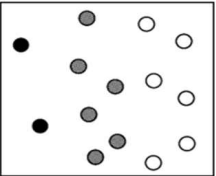


B





C



D

Referencia

- Al
- H
- Cl

¿Cuál es el reactivo limitante y el reactivo en exceso? Justifica tu respuesta