

Intervención didáctica para el aprendizaje de la estequiometría en estudiantes universitarios

Didactic intervention for stoichiometry learning in undergraduate students

Silvana Moris,¹ Susan Morales-Garcés,² Juan Pablo González Gutiérrez,³ Claudio Barrientos¹ y Javiera Gutiérrez-López²

Resumen

Debido a la paralización entre 2020-2021 causada por la pandemia COVID-19, se implementó repentinamente el aprendizaje en modalidad online en todos los niveles de la educación chilena, y en 2022 los establecimientos educacionales volvieron a la modalidad presencial, con preocupación por el rendimiento académico de los estudiantes. La estequiometría es una asignatura compleja de enseñar debido al pensamiento abstracto necesario y, especialmente para los estudiantes de primer año de pregrado, podría ser un desafío debido a que para resolver problemas deben organizar datos y utilizar una secuencia lógica para dar una respuesta correcta. Utilizando una tabla para ordenar los datos y un diagrama de flujo para dar una secuencia lógica de pensamiento apoyamos a los estudiantes de estequiometría en la resolución de problemas con un incremento en su rendimiento académico. Se observó una mejora en el desempeño de resolución de problemas estequiométricos de un 3% a un 58%.

Palabras clave: estequiometría, química general, enseñanza universitaria, didáctica de la química.

Abstract

Due to the lockdown between 2020-2021 caused by the pandemic COVID-19, online mode learning was suddenly implemented at all levels of Chilean education, and in 2022, educational establishments returned to face-to-face mode, with concern about students' academic performance. Stoichiometry is a complex subject to teach due to the abstract thinking needed, and especially for first-year undergraduate students, could be a challenge due to solving problems they must organize data, and use a logical sequence to give a correct answer. Using a table to order data, and a flowchart to give a logical sequence of thinking, we support students in stoichiometry in solving problems with an increase in their academic performance. An improvement in stoichiometric problem-solving performance was observed from 3% to 58%.

Keywords : stoichiometry, general chemistry, university teaching, chemistry didactics.

CÓMO CITAR:

Moris, S., Morales-Garcés, S., González Gutiérrez, J. P., Barrientos, C., y Gutiérrez-López, J. (2025, julio-septiembre). Intervención didáctica para el aprendizaje de la estequiometría en estudiantes universitarios. *Educación Química*, 36(3). <https://doi.org/10.22201/fq.18708404e.2025.3.89873>

¹ Centro de Investigación de Estudios Avanzados del Maule, Vicerrectoría de Investigación y Postgrado, Universidad Católica del Maule, Chile.

² Facultad de Ciencias Básicas, Universidad Católica del Maule, Chile.

³ Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Chile, Chile.

Introducción

En los últimos años, el factor socioeconómico ha dificultado aún más el proceso de enseñanza-aprendizaje, al profundizar la brecha digital entre los aspirantes a la educación superior. Esto se acentuó con el estallido de la pandemia de COVID-19 en 2020 y el confinamiento forzado durante dos años, lo cual generó una transición acelerada de la enseñanza presencial a la virtual. Este cambio impactó de manera significativa a quienes carecen de medios e infraestructura adecuados en sus hogares (Azionya y Nhedzi, 2021; Barrientos y Moris, 2022; García-Martín y García-Sánchez, 2022; Lorenzo Martín et al., 2022).

La clase convencional, caracterizada por el uso de pizarra y lápiz, fue reemplazada por un entorno completamente virtual, en el que se evidenció una brecha de habilidades en el uso de las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC), tanto en el profesorado como en el estudiantado, derivando en exclusión digital (Azionya y Nhedzi, 2021; Pokhrel y Cheetri, 2021). Ante esta nueva realidad, el profesorado debió adaptar sus métodos e idear diversas estrategias para motivar al estudiantado (Álvarez-Alonso y Echeverría-Bonet, 2023).

Con el regreso a las clases presenciales y el deficiente funcionamiento de las aulas virtuales en América Latina durante la pandemia, los académicos universitarios de química, especialmente en los cursos de primer año, enfrentaron diversos desafíos para avanzar en contenidos fundamentales para la formación de futuros profesionales (Singh et al., 2021). Uno de los temas que más dificultades presenta para el estudiantado de química general es la estequiometría (Godoy y Alberto, 2015; Schmidt, 1990; Steiner, 1986), área en la que la práctica docente resulta crucial para lograr aprendizajes significativos. La estequiometría se entiende como el estudio cuantitativo y cualitativo de los reactivos y productos en una reacción química (Chang y Overby, 2020; Ferry y Assis, 2024). Se aplica, además, en temas como reacciones ácido-base, redox, equilibrio químico, disoluciones y cinética (Chonkaew et al., 2019; Rodrigues y Gibin, 2022), aunque suele abordarse desde una perspectiva meramente algorítmica, con ejercicios mecánicos y poca vinculación con experiencias de laboratorio (Aragón, 2004; Ramírez et al., 2009).

Según el currículo chileno, los y las estudiantes deben abordar este contenido durante la enseñanza secundaria, dentro de la unidad de estequiometría. En ella, deben comprender que los compuestos químicos comunes se forman mediante la combinación de elementos en proporciones definidas y realizar cálculos básicos entre reactantes y productos. Por tanto, deben aprender sobre combinaciones químicas, la ley de la conservación de la materia, las leyes de las proporciones definidas y múltiples, cálculos estequiométricos, reactivo limitante y en exceso, y porcentaje de rendimiento, entre otros. Estas actividades suelen partir de reacciones no balanceadas para luego ser balanceadas, y buscan relacionarse con fenómenos cotidianos, como la combustión del gas en la cocina o la lluvia ácida (Ministerio de Educación de Chile, 2016).

Aunque tradicionalmente la educación secundaria y la universitaria se tratan como niveles separados, es fundamental asegurar una transición fluida y efectiva entre ambas (Pérez et al., 2020). Se revisaron dos actividades curriculares de nivel universitario con el mismo nombre, implementadas en distintas instituciones. Se reporta que el estudiantado debe ser capaz no solo de comprender y aplicar los conceptos de la estequiometría, sino

también de explicar los cambios intrínsecos de la materia y fenómenos relacionados con las ciencias farmacéuticas, apoyándose en TIC para resolver problemas relacionados con relaciones cuantitativas entre reactivos y productos, tanto en fase acuosa como gaseosa (Camargo et al., 2023). Asimismo, se espera que puedan realizar conversiones estequiométricas a partir de reacciones químicas (Franco Mariscal et al., 2015).

Entre las estrategias más utilizadas por el profesorado para enseñar estequiometría destacan los mapas conceptuales y las herramientas de estudio para la resolución de problemas (Pérez Echeverría et al., 2024), la instrucción asistida por ordenador, el enfoque desde la perspectiva semántica, las explicaciones en laboratorio (Bapu Ramesh et al., 2020; Gulacar et al., 2019) y, en menor medida, el uso de analogías para favorecer la comprensión conceptual (Palencia Pérez y Trujillo González, 2023; Raviolo y Lerzo, 2016).

Resolver problemas estequiométricos representa un reto para los estudiantes de primer año de licenciatura (Poole, 1989), pues exige habilidades para la resolución de problemas y comprensión de la simbología química (como subíndices, coeficientes, relaciones estequiométricas y ecuaciones balanceadas). Estos elementos se suman al pensamiento abstracto, y la presencia de conceptos erróneos puede disminuir significativamente el rendimiento (Fach et al., 2007; Kimberlin y Yezierski, 2016; Makhechane y Qhobela, 2019; Mulford y Robinson, 2002; Opara, 2014; Sanger, 2005). En este sentido, el uso de organizadores gráficos puede apoyar el razonamiento concreto del estudiantado (Ralph y Lewis, 2019).

Por otro lado, las y los estudiantes reportan falta de motivación frente a los recursos pedagógicos tradicionales para aprender estequiometría, así como una marcada brecha generacional con su profesorado (Lipin, 2020; Sholihah et al., 2018). Uno de los métodos más comunes consiste en memorizar los procedimientos paso a paso para resolver problemas, sin comprender a fondo el sentido de cada conversión (Atkins et al., 2018; García García, 2020). Por ello, la incorporación de representaciones visuales, TIC y herramientas multimedia surge como una alternativa prometedora y motivadora (Mohafa et al., 2022). Una estrategia eficaz para superar estas limitaciones es el uso de analogías cotidianas que acerquen los conceptos a la realidad del estudiantado, así como organizadores gráficos que faciliten el desarrollo de problemas más complejos (Le Marie et al., 2018; Palencia Pérez y Trujillo González, 2023; Raviolo y Lerzo, 2016; Ralph y Lewis, 2019).

La resolución de problemas estequiométricos demanda un alto esfuerzo cognitivo y habilidades matemáticas, debido a la cantidad de información que debe manejarse (ecuaciones balanceadas, concepto de mol, subíndices, relaciones estequiométricas, unidades de medida), lo que exige una considerable capacidad de memoria de trabajo (working memory capacity, WMC) (Chang y Karpudewan, 2020). En este contexto, el material de aprendizaje cobra especial relevancia (Purba et al., 2021). Asimismo, el balanceo de ecuaciones requiere pensamiento crítico y analítico (Miranda, 2024), habilidades que permiten al estudiantado reconocer las relaciones entre las sustancias en una reacción, aplicar el principio de conservación de la masa y representar los procesos químicos desde niveles macroscópico, simbólico y submicroscópico (López et al., 2024).

Considerando lo anterior, se elaboró un diagrama de flujo con los conceptos y operaciones necesarios para resolver problemas de estequiometría, con el objetivo de ordenar los datos y establecer una secuencia lógica en su resolución.

Metodología

El método utilizado corresponde a un diseño **preeperimental**, en el que se aplicó un **pretest** y un **postest** (Ramos-Galarza, 2021) a estudiantes de educación superior que cursaban la asignatura de Química General. La intervención se llevó a cabo en dos etapas. La primera consistió en el uso de una tabla para recopilar la información proporcionada por los ejercicios de estequiometría entregados por el docente. En la segunda etapa, se construyó un diagrama de flujo para organizar los datos de acuerdo con una secuencia lógica de pensamiento, centrada en el contenido químico y la resolución de problemas de estequiometría.

El objetivo de la investigación fue intervenir en el aprendizaje de las ciencias mediante la organización de ideas por parte del estudiantado, con el fin de proporcionar un sentido lógico en la resolución de problemas y fomentar la independencia cognitiva, en contextos que requieren cálculos químicos.

Contexto y muestra

Debido a la pandemia de COVID-19, la educación en Chile, al igual que en muchas partes del mundo, se desarrolló de manera remota durante los años 2020 y 2021. Por ello, el estudiantado que participó en este estudio cursó sus dos últimos años de enseñanza secundaria en modalidad virtual, antes de volver a la presencialidad en 2022, ya como parte de la carrera de Química y Farmacia. Se recolectaron datos de 36 estudiantes del curso de Química General ($N = 36$).

Al inicio del curso, se solicitó al estudiantado resolver problemas relacionados con la estequiometría. Estos no representaban gran dificultad cuando se trataba de preguntas directas que requerían un único cálculo, como balancear ecuaciones, calcular masas molares, establecer relaciones estequiométricas o usar la densidad para obtener una masa a partir de un volumen. Sin embargo, surgieron dificultades cuando se planteaban problemas más complejos, que integraban varios de estos aspectos en un solo enunciado. En estos casos, se identificaron dos patrones principales:

1. Algunos estudiantes dejaban la respuesta en blanco porque no sabían cómo empezar.
2. Otros seleccionaban datos de forma aleatoria y aplicaban los cálculos que conocían, sin reflexión.

Esto evidenció que, si bien poseían habilidades matemáticas y entendían los conceptos estequiométricos por separado, no eran capaces de integrarlos ni relacionarlos entre sí. Por ejemplo, cuando el enunciado no incluía la ecuación química, se esperaba que los estudiantes identificaran reactantes y productos y redactaran dicha ecuación. No obstante, la mayoría asumía que no debía balancearse si no se les pedía explícitamente, o que ya estaba balanceada.

Diseño de un diagrama de flujo y tabla de estequiometría

La estequiometría es fundamental en la formación de los estudiantes universitarios de primer año de Química, aunque su enseñanza implica desafíos debido a la cantidad de subtemas que deben dominarse. Este reto debe ser abordado por el profesorado para

cumplir con los resultados de aprendizaje esperados. Nuestro plan de estudios enfatiza el balanceo correcto de ecuaciones químicas, el cálculo de cantidades de reactivos, la determinación del reactivo limitante, el concepto y uso del mol, así como la aplicación de las relaciones estequiométricas a contextos cotidianos.

Con el propósito de apoyar al estudiantado en el aprendizaje de la estequiometría, se diseñó un diagrama de flujo (véase Figura 1) que simplifica el pensamiento lógico necesario para resolver este tipo de problemas. También se elaboró una tabla (véase Tabla 1) para que pudieran registrar y visualizar mejor los datos del problema.

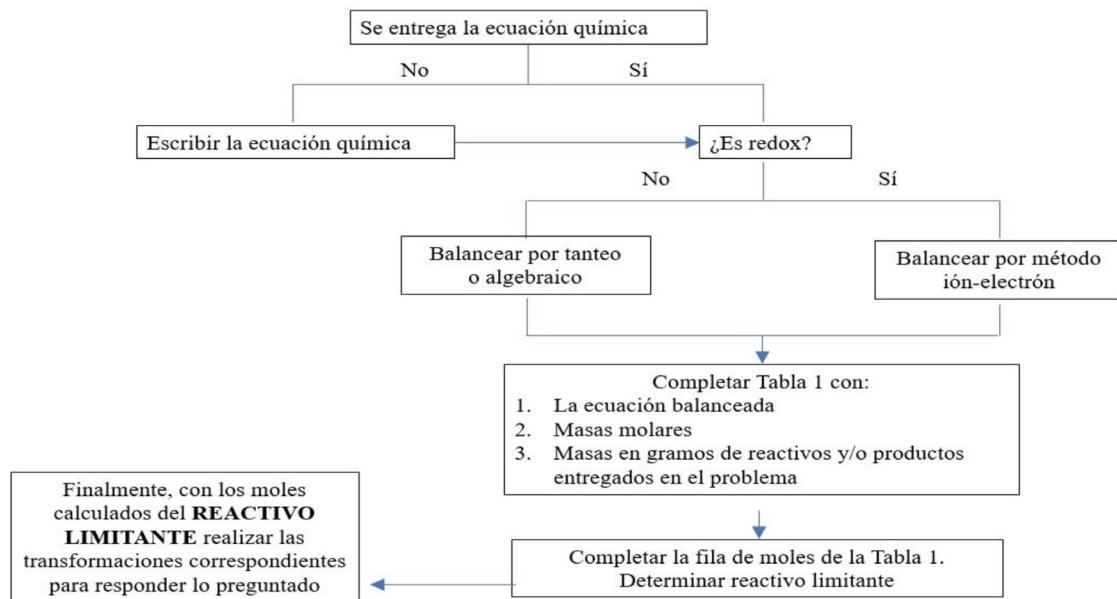


FIGURA 1. Diagrama de flujo para la resolución de problemas de estequiometría.

Recogida de datos

Se aplicó un pretest de 30 minutos con un problema estequiométrico. En esta evaluación, los estudiantes debían resolver el problema únicamente con base en las clases convencionales. Posteriormente, se les presentó el diagrama de flujo (Figura 1) y la tabla (Tabla 1), junto con instrucciones para su uso. Una vez comprendido el funcionamiento de ambos recursos, se aplicó un posttest de 30 minutos, en el que debían resolver un nuevo problema utilizando el diagrama de flujo y la tabla, organizando así los datos para desarrollar adecuadamente la resolución.

TABLA 1. Tabla para ordenar los datos proporcionados en el problema y los resultados calculados durante el desarrollo.

	aA +	bB ->	cC +	dD
Masa				
Masa molar				
Moles				

La fila correspondiente al número de moles se completa considerando una reacción con un rendimiento del 100 %. En caso de presentarse un porcentaje diferente, se debe realizar un cálculo adicional para ajustarse a dicho rendimiento.

TABLA 2. Ejemplos de preguntas de la prueba.

Problema 1	Problema 2
<p>La gasolina de 100 octanos posee 1,00 mL de tetraetilplomo ($Pb(C_2H_5)_4$) por litro. La densidad relativa con respecto al agua (1 g/mL) de este compuesto es de 1,66 y se obtiene por reacción de cloroetano (C_2H_5Cl), y una aleación de sodio-plomo ($PbNa_4$). ¿Cuántos gramos de cloroetano se necesitan para obtener suficiente tetraetilplomo para un litro de gasolina?</p>	<p>La hidracina líquida (N_2H_4) se obtiene en la industria por reacción entre el amoníaco (NH_3), el cloro (Cl_2) y una disolución de hidróxido sódico ($NaOH_{(ac)}$), dando también como productos cloruro sódico ($NaCl$) y agua. Si se burbujean 200 gramos de NH_3 y 175 gramos de Cl_2 en una disolución con un exceso de $NaOH$ en una reacción con un rendimiento del 90%. ¿Cuántos gramos de hidracina pueden obtenerse?</p>

Resultados y discusión

A efectos de análisis, los problemas de estequiometría se dividieron en cinco categorías (C-I a C-V), en concordancia con el diagrama de flujo (Figura 1):

- **C-I.** Escribir la ecuación química balanceada.
- **C-II.** Calcular la masa molar de los reactivos.
- **C-III.** Calcular el número de moles de los reactivos.
- **C-IV.** Determinar el reactivo limitante.
- **C-V.** Utilizar la relación molar entre el reactivo limitante y el compuesto solicitado, aplicando todas las transformaciones requeridas.

Los resultados del pretest, presentados en la Tabla 3, evidencian un bajo rendimiento en la resolución del problema 1 (Tabla 2) en todas las categorías, especialmente en aquellas relacionadas con el cálculo del número de moles de los reactivos, la determinación del reactivo limitante y el uso de la relación molar. Además, la mayoría del estudiantado no sabe cómo resolver los problemas debido a la gran cantidad de información proporcionada. El porcentaje (%) indica la fracción de los 36 participantes que respondió correctamente cada categoría.

TABLA 3. Resultados de estequiometría de los estudiantes en el pretest.

Pre-test	Categorías (I-V)				
	C-I	C-II	C-III	C-IV	C-V
Nº de estudiantes	8	12	1	1	1
Porcentaje (%)	22	33	3	3	3

En cuanto a la categoría C-I, el 22 % escribió correctamente la ecuación química y la balanceó adecuadamente. Para C-II, el 33 % del estudiantado calculó correctamente la masa molar de los reactivos. Sin embargo, a partir de la categoría C-III, solo un estudiante (3 %) logró calcular correctamente el número de moles, identificar el reactivo limitante y establecer la relación molar. Estas dificultades van más allá de cuestiones matemáticas (Raviolo y Lerzo, 2016), ya que implican realizar relaciones estequiométricas tanto entre cantidades de sustancia como entre conceptos fundamentales —por ejemplo, qué se entiende por “sustancia” y su relación con las conversiones estequiométricas—, lo que requiere una comprensión más profunda. Esto sugiere que el bajo rendimiento podría

deberse a la limitada experiencia y comprensión de los conceptos estequiométricos adquiridos en la educación secundaria.

La Tabla 4 muestra el rendimiento del estudiantado en las cinco categorías después de la intervención, durante la cual utilizaron el diagrama de flujo (Figura 1) y la Tabla 1 para organizar los datos del problema y sistematizar sus resultados en la resolución del problema 2 (Tabla 2). El porcentaje (%) corresponde al número de estudiantes que resolvieron correctamente los ejercicios.

Categorías (I-V)					
Pre-test	C-I	C-II	C-III	C-IV	C-V
Nº de estudiantes	34	34	27	23	21
Porcentaje (%)	94	94	75	64	58

TABLA 4. Resultados de estequiometría de los estudiantes en el examen (postest).

La comparación entre los resultados del pretest y el postest (Figura 2) muestra una mejora significativa en el rendimiento en las cinco categorías.

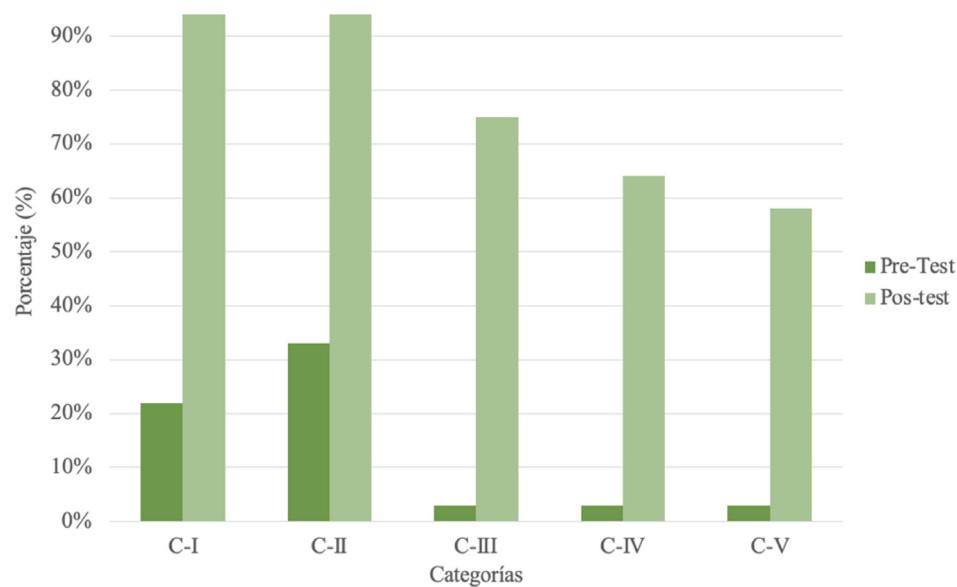


FIGURA 2. Comparación de rendimiento entre la clase de intervención y la tradicional en la resolución de problemas de estequiometría.

Para la categoría C-I, el porcentaje de respuestas correctas aumentó del 22 % al 94 %. Esto indica que el estudiantado logró escribir y balancear adecuadamente la ecuación química, comprendiendo que una reacción química es un fenómeno macroscópico (Galagovsky y Giudice, 2015). Este aspecto representa un reto en el aprendizaje de la química, dado que exige comprender la proporcionalidad entre reactivos y productos (Ferry y Assis, 2024).

De igual forma, en la categoría C-II, se observó un incremento del 22 % al 94 %, lo cual indica que los estudiantes fueron capaces de establecer relaciones estequiométricas y calcular la masa molar de los reactivos. En general, esta habilidad implica relacionar una ecuación química balanceada (representación macroscópica) con el cálculo de masas molares (representación submicroscópica), lo cual supone un cambio de nivel representacional (Vargas et al., 2022).

En la categoría C-III, relacionada con el cálculo del número de moles, el rendimiento aumentó del 3 % al 75 %. Esto sugiere que el estudiantado fue capaz de realizar correctamente los cálculos y organizar la información en la Tabla 1. Según la literatura, el uso de esta tabla ayuda a evitar confusiones entre moles y molaridad (Raviolo y Farré, 2020), además de favorecer la diferenciación entre los conceptos de partícula, masa y cantidad de sustancia (Lepiane-Faranna y Álvarez-Herrero, 2023).

En la categoría C-IV, la proporción de estudiantes que identificaron correctamente el reactivo limitante pasó del 3 % al 64 %. Este cálculo requiere no solo aplicar el criterio clásico basado en el coeficiente en menor cantidad (Iturra et al., 2021), sino también considerar múltiples variables, como la cantidad de sustancia y los coeficientes estequiométricos determinados en la C-I (García García, 2020). La comprensión conceptual e integrada de estos temas representa un desafío importante (Candela-Rodríguez y Cataño-Pereira, 2019), ya que el rendimiento depende de la habilidad para relacionar variables complejas.

En cuanto a la categoría C-V, orientada a relacionar el reactivo limitante con el compuesto solicitado y aplicar correctamente todas las transformaciones, el rendimiento mejoró del 3 % al 58 %. Comparado con las demás categorías, este resultado refleja lo señalado por diversos autores: la enseñanza de la estequiometría suele enfocarse en procedimientos algebraicos como la conversión entre masa molar, moles y reactivo limitante (García García, 2021). No obstante, la resolución adecuada de estos problemas implica manejar conceptos, modelos y representaciones químicas complejas (Candela-Rodríguez y Cataño-Pereira, 2019). En esta categoría, el estudiantado debe comprender tanto el significado como el uso práctico de las relaciones estequiométricas, combinando pensamiento lógico, cálculos simples, uso de símbolos químicos y representaciones químicas. A pesar de ello, solo el 58 % logró resolver correctamente el problema, lo cual indica que aún persisten retos importantes en la comprensión profunda de estos procesos.

Consideraciones finales

En consecuencia, la falta de dominio de los subtemas de la estequiometría hace que sea una tarea casi imposible para los estudiantes determinar el reactivo limitante y, finalmente, responder a la pregunta del enunciado al intentar resolver este tipo de problemas. Sin embargo, después de la intervención, se observó un aumento en el rendimiento en todas las categorías. La categoría C-V está claramente relacionada con la C-IV, y se registró un descenso en comparación con esta última, lo cual podría explicarse por el concepto adicional incluido en el problema (porcentaje de rendimiento), que requiere un cálculo extra.

Por otro lado, una observación importante sobre el desempeño de los estudiantes fue la dificultad para organizar los datos en un problema de estequiometría y pensar en una secuencia algebraica para su resolución. No obstante, cuando se muestra y discute con el estudiantado una ruta clara para abordar el problema, su desempeño mejora notablemente. Por ello, la incorporación de metodologías como los diagramas de flujo y las secuencias de pensamiento lógico, que les permiten ordenar sus ideas, favorece una mayor autonomía en los razonamientos propios de la química durante la resolución de problemas (Aguilera et al., 2017). A su vez, abordar la estequiometría tanto en la educación secundaria como en el nivel universitario implica que el estudiantado comprenda y razona a través de diferentes niveles de representación: simbólica, submicroscópica y macroscópica (Caamaño, 2017).

Si bien esta intervención no se centra en los aspectos matemáticos de la resolución de problemas estequiométricos —pues esa parte se aborda previamente en la enseñanza secundaria—, su objetivo es integrar los conceptos químicos ya adquiridos, dándoles un orden coherente que permita resolver exitosamente los problemas. En este sentido, resulta primordial preguntarse: ¿qué metodologías deben aplicarse para estimular el aprendizaje del estudiantado? Esto cobra especial relevancia si se considera que los métodos tradicionales ya no logran cautivar a quienes deben estudiar química. El verdadero desafío consiste en identificar cómo motivar y fomentar el pensamiento lógico en la enseñanza de la química, una habilidad que puede extrapolarse a otras áreas del conocimiento.

Agradecimientos

Beca Doctoral UCM – Programa de Doctorado en Didáctica de las Ciencias Experimentales, Facultad de Ciencias Básicas, Universidad Católica del Maule; Vicerrectoría de Investigación y Postgrado, Universidad Católica del Maule; ANID, Beca de Doctorado Nacional N.º 21250590.

Referencias

- Aguilera-Ruiz, C., Manzano-León, A., Martínez-Moreno, I., del Carmen Lozano-Segura, M., y Yanicelli, C. C. (2017). El modelo flipped classroom. *International Journal of Developmental and Educational Psychology*, 4(1), 261-266. <https://doi.org/10.17060/ijodaep.2017.n1.v4.1055>
- Alonso, P. Á., y Bonet, C. E. (2023). Gamificación en tiempos de pandemia: rediseño de una experiencia en educación superior. *Revista Eureka sobre enseñanza y divulgación de las ciencias*, 20(2), 2204-2204. https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2023.v20.i2.2204
- Aragón, M. (2004). La ciencia de lo cotidiano. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 1(2), 109-121. http://dx.doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2004.v1.i2.04
- Atkins, P. W., De Paula, J., y Keeler, J. (2018). *Atkins' physical chemistry*. United Kingdom: Oxford University Press.
- Azionya, C. M., y Nhedzi, A. (2021). The digital divide and higher education challenge with emergency online learning: Analysis of tweets in the wake of the COVID-19 lockdown. *Turkish Online Journal of Distance Education*, 22(4), 164-182. <https://doi.org/10.17718/tojde.1002822>
- Bapu Ramesh, V., Selvam, A. A. A., Kulkarni, S., Dattatreya Manganahalli, A., y Bettadapur, K. R. (2020). Designing and using an atomic model Kit with H, C, N, and O model atoms having a mass ratio of 1: 12: 14: 16 to teach the concept of mole and associated stoichiometric relationships. *Journal of Chemical Education*, 97(4), 986-991. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.9b00665>
- Barrientos, C., y Moris, S. (2022). Teaching organic nomenclature for pharmacy students: Adapting a course to online mode during COVID-19. *Pharmacy Education*, 22(1), 360-375. <https://doi.org/10.46542/pe.2022.221.360375>

Caamaño, A. (2017). Formas y niveles de representación de las reacciones químicas: Un instrumento esencial para la comprensión del cambio químico. *Alambique: Didáctica de las ciencias experimentales*, 90, 8-16.

Camargo, M. J. R., Faustino, G. A. A., y Benite, A. M. C. (2023). Denegrindo o ensino de ciências/química: um percurso para a formação docente. *Investigações Em Ensino De Ciências*, 28(1), 1-22. <https://doi.org/10.22600/1518-8795.ienci2023v28n1p01>

Candela-Rodríguez, B. F., y Cataño-Pereira, R. (2019). Diseño de una progresión de aprendizaje hipotética para la enseñanza de la estequiometría por comprensión conceptual e integrada. *Tecné, Episteme y Didaxis: TED*, (45), 107-120.

Chang, F. S., y Karpudewan, M. (2020). Working memory capacity and teaching and learning of stoichiometry. *Science Education in the 21st Century: Re-researching Issues that Matter from Different Lenses*, 191-206. https://doi.org/10.1007/978-981-15-5155-0_13

Chang, R y Overby, J. (2020). *Fundamentos de química*. México: McGraw-Hill.

Chonkaew, P., Sukhummek, B., y Faikhamta, C. (2019). STEM activities in determining stoichiometric mole ratios for secondary-school chemistry teaching. *Journal of Chemical Education*, 96(6), 1182-1186. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.8b00985>

Fach, M., De Boer, T., y Parchmann, I. (2007). Results of an interview study as basis for the development of stepped supporting tools for stoichiometric problems. *Chemistry Education Research and Practice*, 8(1), 13-31. <https://doi.org/10.1039/B6RP90017H>

Ferry, A. da S. y Assis, L. P. de (2024) Análisis Estructural de una Analogía para la Enseñanza de la Estequiometría Química: posibilidades y limitaciones. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 21(1), 1202. http://dx.doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2024.v21.i1.1202

Franco Mariscal, R., Oliva Martínez, J. M., y Gil Montero, A. (2015). Análisis de contenido de las pruebas de acceso a la universidad en la asignatura de Química en Andalucía. *Revista Eureka sobre enseñanza y divulgación de las Ciencias*, 12(3), 456-474. http://dx.doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2015.v12.i3.05

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*, 21, 85-99. <https://doi.org/10.1590/1516-731320150010006>

García García, J. L. (2020). El álgebra de la estequiometría. *Educación química*, 31(1), 138-150. <https://doi.org/10.22201/fq.18708404e.2020.1.70021>

García García, J. L. (2021). Deduciendo las relaciones entre las unidades de concentración en disoluciones líquidas. *Educación química*, 32(3), 38-51. <https://doi.org/10.22201/fq.18708404e.2021.3.72021>

García-Martín, J., y García-Sánchez, J. N. (2022). The digital divide of know-how and use of digital technologies in higher education: The case of a college in Latin America in the COVID-19 era. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(6), 3358. <https://doi.org/10.3390/ijerph19063358>

- Godoy, M., y Alberto, K. (2015). Aplicación de un juego didáctico como estrategia pedagógica para la enseñanza de la estequiometría. *Revista de investigación*, 39(84), 181-204. <https://doi.org/https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=376140399009>
- Gulacar, O., Tan, A., Cox Jr, C. T., Bloomquist, J., Jimmy, O., y Cao, N. (2019). Analyzing characteristics of experts in the context of stoichiometric problem-solving. *Education Sciences*, 9(3), 219. <https://doi.org/10.3390/educsci9030219>
- Iturra Toledo, M. A., Mallea Lobos, J. I., Quintanilla Gatica, M. R., Chen Carrillo, Y. Y., y Herrera Melin, A. M. (2021). Explicaciones escolares respecto al concepto reactivo limitante. *Educación química*, 32(4), 81-95. <https://doi.org/10.22201/fq.18708404e.2021.5.78128>
- Kimberlin, S., y Yezierski, E. (2016). Effectiveness of inquiry-based lessons using particulate level models to develop high school students' understanding of conceptual stoichiometry. *Journal of Chemical Education*, 93(6), 1002-1009. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.5b01010>
- Le Maire, N. V., Verpoorten, D. P., Fauconnier, M. L. S., y Colaux-Castillo, C. G. (2018). Clash of chemists: A gamified blog to master the concept of limiting reagent stoichiometry. *Journal of Chemical Education*, 95(3), 410-415. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.7b00256>
- Lepiane-Faranna, L., y Álvarez-Herrero, J. F. (2023). Secuencia de actividades para la enseñanza de las reacciones químicas. *Educación química*, 34(1), 86-99. <https://doi.org/10.22201/fq.18708404e.2023.1.81529>
- Lipin, R. (2020). Students' Reflections on Pandemic Impacted Chemistry Learning. *Journal of Chemical Education*, 97(9), 3327-3331. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.0c00613>
- López, L. T., Benítez, R. B., y Fuertes, D. A. A. (2024). La simbología de las reacciones químicas: una estrategia didáctica para su aprendizaje, a partir del modelo cognitivo de ciencia. *Educación Química*, 35(3), 3-19. <https://doi.org/10.22201/fq.18708404e.2024.3.86939>
- Lorenzo Martín, E., Reinoso Tapia, R., Usategui Martín, R., y Delgado Iglesias, J. (2022). Competencia digital del profesorado español de educación secundaria en tiempo de covid-19. *Investigações Em Ensino De Ciências*, 27(3), 59-77. <https://doi.org/10.22600/1518-8795.ienci2022v27n3p59>
- Makhechane, M., y Qhobela, M. (2019). Understanding how chemistry teachers transform stoichiometry concepts at secondary level in Lesotho. *South African Journal of Chemistry*, 72, 59-66. <https://doi.org/10.17159/0379-4350/2019/v72a9>
- Ministerio de Educación de Chile. (2016). *Ciencias Naturales. Programa de estudio de Primerio medio*. Unidad de Curriculum y Evaluación. https://www.curriculumnacional.cl/614/articles-34456_programa.pdf
- Miranda González, J. A. (2024). Enseñanza de la Estequiometría: Vínculos entre Teoría y Entorno Estudiantil. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinaria*, 8(4), 848-862. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i4.12324

- Mohafa, L. G., Qhobela, M., y George, M. J. (2022). Evaluating the influence of interactive simulations on learners' academic performance in stoichiometry. *South African Journal of Chemistry*, 76, 01-08. <https://doi.org/10.17159/0379-4350/2022/v76a01>
- Mulford, D. R., y Robinson, W. R. (2002). An inventory for alternate conceptions among first-semester general chemistry students. *Journal of chemical education*, 79(6), 739. <https://doi.org/10.1021/ed079p739>
- Opara, M. F. (2014). Improving Students' Performance in Stoichiometry through the Implementation of Collaborative Learning. *Journal of Education and Vocational Research*, 5(3), 85-93. <https://doi.org/10.22610/jevr.v5i3.156>
- Palencia Pérez, J. C., y Trujillo González, M. (2023). Enseñanza de la estequiometría mediante analogías propias del contexto sociocultural de los estudiantes. *Educación química*, 34(2), 50-58. <https://doi.org/10.22201/fq.18708404e.2023.2.83336>
- Pérez, A. B. D., Quispe, F. M. P., Aguilar, O. A. G., y Cortez, L. C. C. (2020). Transición secundaria-universidad y la adaptación a la vida universitaria. *Revista de Ciencias Sociales*, 26(3), 244-258.
- Pérez Echeverría, M. P., Pozo, J. I., y Cabellos, B. (2024). ¿Ayudan las TIC a una enseñanza más centrada en el estudiante en las materias STEM?. *Investigações Em Ensino De Ciências*, 29(1), 396-409. <https://doi.org/10.22600/1518-8795.ienci2024v29n1p396>
- Pokhrel, S., y Chhetri, R. (2021). A literature review on impact of COVID-19 pandemic on teaching and learning. *Higher education for the future*, 8(1), 133-141. <https://doi.org/10.1177/2347631120983481>
- Poole, R. L. (1989). Teaching stoichiometry: A two cycle approach. *Journal of Chemical Education*, 66(1), 57. <https://doi.org/10.1021/ed066p57>
- Purba, J., Panggabean, F. T. M., y Widarma, A. (2021). Development of General Chemical Teaching Materials (Stoichiometry) in an Integrated Network of Media-Based Higher Order Thinking Skills. *Advances in Social Science, Education and Humanities Research*, 591, 949-954. <https://doi.org/https://doi.org/10.2991/assehr.k.211110.211>
- Ralph, V. R., y Lewis, S. E. (2019). An explanatory basis for the differential performance of students with low math aptitude in general chemistry. *Chemistry Education Research and Practice*, 20(3), 570-593. <https://doi.org/10.1039/C9RP00068B>
- Ramírez, J. E. M., Chávez, J. H., López, V. H. G., Jiménez, W. F., y Casas, J. (2009). ¡¡ Estequiometría visible !!. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 6(3), 477-482. http://dx.doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2009.v6.i3.12
- Raviolo, A., y Farré, A. (2020). Aprendizaje conceptual del tema concentración de disoluciones: análisis de imágenes de libros de texto universitario. *Educación química*, 31(3), 119-133. <https://doi.org/10.22201/fq.18708404e.2020.3.75733>
- 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>

Rodrigues, A. M., y Gibin, G. (2022). O uso do stop motion na investigação de modelos mentais de alunos do ensino médio sobre conceitos relacionados com a eletrólise. *Investigações Em Ensino De Ciências*, 27(2), 222-242. <https://doi.org/10.22600/1518-8795.ienci2022v27n2p222>

Sanger, M. J. (2005). Evaluating students' conceptual understanding of balanced equations and stoichiometric ratios using a particulate drawing. *Journal of Chemical Education*, 82(1), 131. <https://doi.org/10.1021/ed082p131>

Schmidt, H. J. (1990). Secondary school students' strategies in stoichiometry. *International Journal of Science Education*, 12(4), 457-471. <https://doi.org/10.1080/0950069900120411>

Sholihah, A. U., Dj., J., y Efendi, J. (2018). Development of Stoichiometry Module Based on Problem Solving for 10th Grade of High School Students. *International Journal of Research in Counseling and Education*, 1(1), 1-9. <https://doi.org/10.24036/005za0002>

Singh, J., Steele, K., y Singh, L. (2021). Combining the best of online and face-to-face learning: Hybrid and blended learning approach for COVID-19, post vaccine, & post-pandemic world. *Journal of Educational Technology Systems*, 50(2), 140-171. <https://doi.org/10.1177/00472395211047865>

Steiner, R. P. (1986). Teaching stoichiometry. *Journal of Chemical Education*, 63(12), 1048. <https://doi.org/10.1021/ed063p1048.1>

Vargas Zúñiga, K. T., Quintero Fierro, Y. K., y Narváez Zamora, L. J. (2022). Dificultades en el Aprendizaje del Concepto Estequiometría en estudiantes de Licenciatura en Ciencias Naturales y Educación Ambiental de la Universidad Surcolombiana de Neiva, Huila. *Revista Latinoamericana De Educación Científica, Crítica y Emancipadora*, 1(2), 1-18. <https://doi.org/10.5281/zenodo.8075236>