Revista esprint Investigación

https://rei.esprint.tech
Vol. 5 N° Esp.2, Edición Especial 2026 (54-67) ISSN: 2960-8317
Salud y Ciencias de la Vida

Artículo de revisión

Aplicación de simuladores digitales en la enseñanza de reacciones químicas y balanceo de ecuaciones

Application of digital simulators in the teaching of chemical reactions and balancing of equations

Karen Elizabeth Macías Erazo*
Universidad Nacional de Chimborazo
Riobamba - Ecuador
karen.macias@unach.edu.ec
https://orcid.org/0009-0005-1543-9467

Sandra Verónica Mera Ponce
Universidad Nacional de Chimborazo
Riobamba - Ecuador
sandra.mera@unach.edu.ec
https://orcid.org/0000-0002-6247-6616

***Correspondencia:**
karen.macias@unach.edu.ec

Cómo citar este artículo:
Macías, K., & Mera, S. (2026). Aplicación de simuladores digitales en la enseñanza de reacciones químicas y balanceo de ecuaciones. *Esprint Investigación, 5*(Esp.2), 54-67. https://doi.org/10.61347/ei.v5iEsp.2.344

Recibido: *23 de mayo de 2026*
Aceptado: *30 de junio de 2026*
Publicado: *10 de julio de 2026*

Copyright: Derechos de autor 2026 Karen Elizabeth Macías Erazo, Sandra Verónica Mera Ponce.

Esta obra está bajo una licencia internacional Creative Commons Atribución-NoComercial 4.0.

Resumen: La enseñanza de reacciones químicas y balanceo de ecuaciones representa un desafío para los estudiantes debido a la dificultad para interpretar el lenguaje simbólico, comprender el nivel submicroscópico de las reacciones y aplicar el principio de conservación de la masa. La presente investigación tuvo como objetivo analizar la aplicación de simuladores digitales en la enseñanza de reacciones químicas y balanceo de ecuaciones, identificando sus aportes en la comprensión conceptual, la representación de procesos químicos y el aprendizaje activo. La metodología se desarrolló bajo un enfoque cualitativo, con un diseño documental y alcance descriptivo-analítico. Se realizó una búsqueda bibliográfica en bases de datos académicas como Scopus, Google Scholar y SciELO, mediante el uso de operadores booleanos en español e inglés. La información recopilada fue seleccionada mediante criterios de inclusión y exclusión, y posteriormente analizada mediante categorías relacionadas con dificultades de aprendizaje, simuladores digitales y contribuciones didácticas. Los resultados evidenciaron dificultades en la transformación de enunciados en ecuaciones químicas, identificación del reactivo limitante, cálculos estequiométricos, uso de símbolos y diferenciación entre coeficientes y subíndices. Además, se identificaron simuladores como PhET, ChemCollective, Crocodile Chemistry, ChemLab y GoLab, cuyos principales aportes se relacionan con la visualización de fenómenos químicos, la manipulación de variables, la experimentación virtual y el aprendizaje guiado. Se concluye que los simuladores digitales constituyen recursos didácticos complementarios para fortalecer la enseñanza de reacciones químicas y balanceo de ecuaciones, al favorecer la relación entre representaciones simbólicas, modelos moleculares y principios químicos como la conservación de la masa.

Palabras clave: Aprendizaje activo, balanceo de ecuaciones, enseñanza de la química, reacciones químicas, simuladores digitales.

Abstract: *The teaching of chemical reactions and equation balancing represents a challenge for students due to difficulties in interpreting symbolic language, understanding the submicroscopic level of reactions, and applying the principle of mass conservation. This research aimed to analyze the application of digital simulators in the teaching of chemical reactions and equation balancing, identifying their contributions to conceptual understanding, the representation of chemical processes, and active learning. The methodology was developed under a qualitative approach, with a documentary design and a descriptive-analytical scope. A bibliographic search was conducted in academic databases such as Scopus, Google Scholar, and SciELO, using Boolean operators in Spanish and English. The collected information was selected through inclusion and exclusion criteria and subsequently analyzed through categories related to learning difficulties, digital simulators, and didactic contributions. The results revealed difficulties in transforming statements into chemical equations, identifying the limiting reagent, performing stoichiometric calculations, using chemical symbols, and differentiating between coefficients and subscripts. In addition, simulators such as PhET, ChemCollective, Crocodile Chemistry, ChemLab, and GoLab were identified, with their main contributions related to the visualization of chemical phenomena, variable manipulation, virtual experimentation, and guided learning. It is concluded that digital simulators constitute complementary didactic resources for strengthening the teaching of chemical reactions and equation balancing, as they promote the relationship between symbolic representations, molecular models, and chemical principles such as mass conservation.*

Keywords*: Active learning, balancing equations, chemical reactions, chemistry teaching, digital simulators.*

1. Introducción

La enseñanza de la química ocupa un lugar relevante en la formación científica de los estudiantes, debido a que permite comprender la composición de la materia, sus transformaciones y su relación con fenómenos presentes en la vida cotidiana, el ambiente, la salud y la industria (García et al., 2024). En esta línea, Sánchez y Lorenzo (2026) sostienen que la enseñanza experimental constituye un componente central en la educación química, ya que favorece la construcción de conocimientos científicos y el desarrollo de habilidades necesarias para interpretar fenómenos complejos. Sin embargo, su aprendizaje suele representar un desafío, especialmente cuando se abordan contenidos abstractos como las reacciones químicas, la estructura molecular y el balanceo de ecuaciones.

Dentro de estos contenidos, las reacciones químicas y el balanceo de ecuaciones son fundamentales para comprender la transformación de las sustancias y la aplicación del principio de conservación de la masa. Echeverría (2023) señala que el balanceo de ecuaciones químicas es una habilidad esencial para la comprensión de las reacciones, debido a que permite verificar la igualdad entre los átomos presentes en reactivos y productos. No obstante, los estudiantes suelen presentar dificultades para diferenciar reactivos y productos, interpretar fórmulas químicas, distinguir coeficientes de subíndices y reconocer la cantidad de átomos antes y después de una reacción.

Estas dificultades se intensifican cuando la enseñanza se desarrolla mediante métodos tradicionales centrados en la explicación magistral, la memorización de procedimientos y la repetición mecánica de ejercicios. Al respecto, Chonillo-Sislema et al. (2024) identifican que los estudiantes de bachillerato perciben la química como una asignatura abstracta y compleja, especialmente por la dificultad para visualizar sus conceptos y relacionarlos con situaciones prácticas. De igual manera, Rezabala-Zambrano y Caballero-Vera (2026) destacan que la falta de recursos experimentales, digitales e interactivos limita el aprendizaje significativo y reduce la conexión entre teoría, práctica y representación molecular.

Frente a este escenario, las tecnologías digitales se han incorporado progresivamente como recursos de apoyo para transformar las prácticas pedagógicas en las ciencias naturales. Mainato et al. (2023) indican que los recursos digitales favorecen ambientes de aprendizaje más dinámicos, visuales e interactivos, siempre que su uso responda a una planificación didáctica clara. En la enseñanza de la química, estos recursos adquieren especial importancia porque permiten representar procesos abstractos y facilitar la conexión entre los niveles macroscópico, microscópico y simbólico del conocimiento químico.

Entre estas herramientas, los simuladores digitales se presentan como recursos didácticos de gran valor, debido a que permiten recrear fenómenos científicos mediante modelos interactivos, gráficos, animaciones y actividades guiadas. Cuchillac (2024) afirma que los simuladores virtuales favorecen experiencias de aprendizaje basadas en la exploración, la toma de decisiones y la resolución de problemas. Del mismo modo, Alarcón et al. (2025) destacan que plataformas como PhET permiten manipular variables, observar resultados en tiempo real y comprender fenómenos abstractos mediante representaciones dinámicas.

En el caso específico de las reacciones químicas y el balanceo de ecuaciones, los simuladores digitales permiten visualizar átomos, moléculas, reactivos y productos, lo que facilita la comprensión de la conservación de la materia y el uso correcto de los coeficientes estequiométricos. Alfaro y Ramos (2023) señalan que el uso de herramientas informáticas y simuladores en el balanceo de reacciones

químicas contribuye a complementar la enseñanza teórica, especialmente en contextos donde existen limitaciones para el trabajo experimental. Además, estas herramientas permiten que el estudiante practique, corrija errores y relacione las representaciones simbólicas con modelos moleculares.

El uso de simuladores como PhET también ha sido asociado con mejoras en la motivación, la participación y la comprensión conceptual de los estudiantes. Sailema-Castro et al. (2025) evidencian que las simulaciones facilitan la visualización de fenómenos químicos y ayudan a vincular la teoría con la práctica, favoreciendo un aprendizaje más profundo y significativo. Barradas-Arenas et al. (2023) agregan que los simuladores promueven la interacción, la experimentación y la construcción activa del conocimiento, aspectos relevantes para superar la enseñanza pasiva y memorística.

No obstante, la incorporación de simuladores digitales requiere una adecuada mediación docente. Ortiz-Velásquez et al. (2025) señalan que el docente cumple un papel fundamental en la selección, planificación, orientación y evaluación de las actividades mediadas por simuladores. Por ello, el uso de estas herramientas no debe entenderse como un reemplazo de la enseñanza docente, sino como un recurso complementario que debe articularse con la explicación teórica, los ejercicios prácticos y la evaluación del aprendizaje.

En este contexto, resulta necesario analizar la aplicación de simuladores digitales como estrategia didáctica para fortalecer la enseñanza de contenidos químicos complejos, particularmente aquellos relacionados con las reacciones químicas y el balanceo de ecuaciones. Este análisis permite comprender sus aportes pedagógicos, sus posibilidades de visualización y las condiciones necesarias para su implementación efectiva dentro del proceso educativo.

La presente investigación tiene como objetivo analizar la aplicación de simuladores digitales en la enseñanza de reacciones químicas y balanceo de ecuaciones, con el fin de fortalecer la comprensión conceptual, la visualización de procesos químicos y el aprendizaje activo de los estudiantes. Para alcanzar este propósito, se plantearon los siguientes objetivos específicos: identificar las principales dificultades que presentan los estudiantes en el aprendizaje de reacciones químicas y balanceo de ecuaciones; caracterizar los simuladores digitales utilizados en estos procesos considerando sus funciones, recursos interactivos, posibilidades de visualización y aportes didácticos; y determinar la contribución de estos recursos en la comprensión de reactivos, productos, coeficientes, subíndices y conservación de la masa durante el balanceo de ecuaciones químicas.

2. Metodología

La presente investigación se desarrolló bajo un enfoque cualitativo, con un diseño documental y un alcance descriptivo-analítico, orientado al análisis de la aplicación de simuladores digitales en la enseñanza de reacciones químicas y balanceo de ecuaciones. El proceso metodológico se estructuró en tres fases. En la primera, se realizó una búsqueda bibliográfica de información científica en bases de datos académicas reconocidas como Scopus, Google Scholar y Scielo.

Para ello, se emplearon operadores booleanos mediante la combinación de términos como “digital simulators” AND “chemistry teaching” AND “learning difficulties” AND “balancing chemical equations”, así como “simuladores digitales” AND “enseñanza de la química”. Se consideraron publicaciones recientes, priorizando artículos de los últimos cinco años, con el fin de garantizar la actualidad y relevancia de la información.

En la segunda fase, se aplicaron criterios de inclusión y exclusión para la selección de las fuentes. Se incluyeron artículos científicos, revisiones sistemáticas, libros y trabajos académicos relacionados

directamente con la aplicación de simuladores digitales en la enseñanza de reacciones químicas y balanceo de ecuaciones. Se excluyeron documentos duplicados, fuentes sin respaldo académico y estudios que no presentaban una relación directa con el objeto de investigación.

En la tercera fase, se llevó a cabo un análisis de contenido de la información recopilada mediante la categorización de tres ejes principales: dificultades en el aprendizaje de reacciones químicas y balanceo de ecuaciones, simuladores digitales utilizados para el aprendizaje de estos contenidos y aportes de dichos recursos en la comprensión de la química. Esta información se organizó en tablas comparativas, permitiendo identificar patrones, relaciones y aportes relevantes de los diferentes autores. Los resultados se sistematizaron en tablas comparativas que facilitaron la interpretación de las dificultades identificadas, las características de los simuladores analizados y su contribución al aprendizaje de reacciones químicas y balanceo de ecuaciones.

3. Resultados

Principales dificultades en el aprendizaje de reacciones químicas y balanceo de ecuaciones

La tabla 1 permite identificar las principales dificultades en el aprendizaje de reacciones químicas y balanceo de ecuaciones, organizando los hallazgos en tres dimensiones: dificultad cognitiva, manifestación del problema y consecuencia educativa. Los resultados muestran que las limitaciones se concentran en la interpretación de representaciones simbólicas, la comprensión de relaciones estequiométricas y la articulación entre los niveles macroscópico, microscópico y simbólico de la química. Estas dificultades evidencian la importancia de emplear estrategias didácticas que favorezcan la visualización y experimentación de procesos abstractos, donde los simuladores digitales constituyen una alternativa para fortalecer la comprensión conceptual de los estudiantes.

Tabla 1

Dificultades frecuentes de los estudiantes en el aprendizaje de reacciones químicas y balanceo de ecuaciones

Dificultad	Descripción	Efecto en el aprendizaje
Transformación de enunciados en ecuaciones químicas	Los estudiantes presentan dificultades significativas para transformar enunciados verbales en ecuaciones químicas balanceadas, evidenciándose un 97,3 % de error.	Limita la aplicación del conocimiento químico en la resolución de problemas y la interpretación de fenómenos relacionados con transformaciones de la materia.
Identificación del reactivo limitante	Los estudiantes presentan dificultades para identificar correctamente el reactivo limitante en una reacción química, con un 96,56 % de error.	Dificulta la comprensión de los principios estequiométricos y afecta la determinación de las cantidades de reactivos y productos involucrados en una reacción.
Cálculos basados en ecuaciones químicas	Los estudiantes evidencian dificultades para realizar cálculos de masa y cantidad de sustancia a partir de ecuaciones químicas, con un 96,56 % de error.	Afecta la resolución de problemas cuantitativos y limita la comprensión progresiva de contenidos asociados con la estequiometría.
Uso correcto de símbolos químicos	Se identifican errores en el uso de mayúsculas y minúsculas dentro de las fórmulas químicas, con un 91,5 % de error.	Genera dificultades en la escritura e interpretación de fórmulas químicas, debido a que la modificación de símbolos puede alterar la identificación de elementos y compuestos.

Comprensión de subíndices y coeficientes	Más del 70 % de los estudiantes presenta confusión entre la función de los subíndices y coeficientes químicos dentro de fórmulas y ecuaciones.	Dificulta la interpretación de la cantidad de átomos, moléculas o especies químicas que participan en una reacción.
Dependencia de representaciones simbólicas	Los estudiantes tienden a interpretar las ecuaciones químicas únicamente desde su representación simbólica, sin relacionarlas adecuadamente con el nivel submicroscópico de la materia.	Limita la comprensión conceptual de las reacciones químicas y dificulta la relación entre fórmulas, partículas, átomos y moléculas.
Enfoque tradicional de enseñanza	La enseñanza basada en la memorización, repetición mecánica de ejercicios y participación limitada del estudiante restringe la construcción activa del conocimiento químico.	Reduce el aprendizaje significativo y dificulta la transferencia de conceptos químicos hacia situaciones prácticas y experimentales.

Nota: Elaboración a partir de los estudios de Ogundiji (2024), Hamerská et al., (2024) y Emeka & Njoku (2023).

La dificultad más significativa corresponde a la transformación de enunciados verbales en ecuaciones químicas balanceadas, con un 97,3 % de error. Este resultado evidencia que los estudiantes presentan limitaciones para trasladar una situación descrita en lenguaje común al lenguaje simbólico de la química, afectando la identificación de reactivos, productos y las proporciones involucradas en una reacción química.

De manera similar, la identificación del reactivo limitante y la realización de cálculos basados en ecuaciones químicas presentan un 96,56 % de error. Estos datos reflejan debilidades en la comprensión de la estequiometría, debido a que los estudiantes tienen dificultades para relacionar las ecuaciones balanceadas con las cantidades de masa, moles y sustancias que participan en un proceso químico. Por ello, la problemática trasciende el balanceo mecánico de ecuaciones e involucra la interpretación de las relaciones cuantitativas representadas.

Otra dificultad relevante se relaciona con el uso correcto de símbolos químicos, donde se registra un 91,5 % de error. Este aspecto resulta importante, debido a que el empleo inadecuado de mayúsculas y minúsculas puede modificar la identificación de elementos o compuestos. Además, la confusión entre subíndices y coeficientes, presente en más del 70 % de los estudiantes, limita la interpretación de la cantidad de átomos, moléculas o especies químicas que intervienen en una reacción. Estos resultados evidencian dificultades en el dominio del lenguaje simbólico de la química.

Los hallazgos también muestran que los estudiantes tienden a interpretar las ecuaciones desde una perspectiva principalmente simbólica, sin establecer una relación adecuada con el nivel submicroscópico de las reacciones. Aunque pueden reconocer fórmulas y expresiones químicas, presentan limitaciones para asociarlas con modelos de partículas, átomos y moléculas, lo que genera una comprensión fragmentada de los procesos de transformación de la materia.

Por otra parte, el enfoque tradicional de enseñanza constituye un factor asociado a la persistencia de estas dificultades. La memorización de reglas, la repetición de ejercicios y la participación pasiva reducen las oportunidades para desarrollar una comprensión conceptual de las ecuaciones químicas y el balanceo. En consecuencia, los resultados sugieren la necesidad de fortalecer las prácticas didácticas mediante estrategias visuales, activas e interactivas que permitan representar fenómenos químicos abstractos y favorecer una comprensión integral de estos contenidos.

Simuladores digitales utilizados en el aprendizaje de reacciones químicas y balanceo de ecuaciones

La tabla 2 presenta una caracterización de los principales simuladores digitales empleados en la enseñanza de contenidos químicos, destacando sus funciones, recursos interactivos y contribuciones pedagógicas. Los estudios analizados evidencian que estas herramientas permiten representar fenómenos difíciles de observar mediante prácticas tradicionales, especialmente aquellos relacionados con partículas, reacciones químicas y relaciones estequiométricas. Además, favorecen ambientes de aprendizaje activos donde el estudiante puede experimentar, modificar variables y establecer relaciones entre las representaciones macroscópicas, microscópicas y simbólicas de la química.

Tabla 2

Características de los simuladores digitales empleados en la enseñanza de contenidos químicos

Autores	Simulador digital	Contenido que aborda	Funciones principales	Recursos interactivos	Aporte didáctico
Ndagijimana et al. (2025)	PhET (Reactivos, productos y subproductos)	Reacciones químicas, identificación de reactivos y productos, balanceo de ecuaciones químicas, ácidos, bases y escala de pH.	Permite visualizar procesos químicos a nivel microscópico, manipular variables, explorar relaciones entre reactivos y productos, y experimentar mediante representaciones dinámicas.	Animaciones computarizadas, modelos de partículas, manipulación de variables, experimentos virtuales y retroalimentación inmediata.	Favorece la comprensión de conceptos químicos abstractos, fortalece el pensamiento crítico, incrementa la motivación y promueve el aprendizaje activo mediante la interacción con representaciones científicas.
Okrepka (2022)	ChemCollective	Prácticas de laboratorio químico, preparación de soluciones, diluciones, química general y procesos experimentales aplicados a la formación profesional.	Permite diseñar y ejecutar experimentos virtuales, realizar cálculos químicos, verificar resultados y reproducir procedimientos de laboratorio en un entorno seguro.	Biblioteca de reactivos, materiales y equipos de laboratorio; instrucciones digitales; simulación de procedimientos experimentales; incorporación de recursos multimedia.	Fortalece competencias experimentales e investigativas, facilita la preparación previa al laboratorio presencial, optimiza recursos y favorece el aprendizaje autónomo mediante la experimentación virtual.
Chonillo-Sislema (2022)	Crocodile Chemistry	Ácidos y bases, metales, mezclas, reacciones químicas, compuestos no metálicos y electroquímica.	Simula experimentos químicos mediante la selección de sustancias, modificación de parámetros y representación de fenómenos mediante modelos gráficos y tridimensionales.	Biblioteca de objetos químicos, manipulación de concentraciones, modificación de variables, visualización 3D y representación gráfica de resultados.	Favorece el aprendizaje experimental y constructivista, fortalece la relación teoría-práctica y permite desarrollar habilidades científicas en ambientes seguros y accesibles.

Alcántara et al. (2024)	ChemLab	Conceptos generales de química, propiedades de la materia, formación de sustancias, química inorgánica y relaciones entre materia y energía.	Facilita la simulación de experimentos químicos, formulación de hipótesis, manipulación de variables y análisis de fenómenos mediante procedimientos de indagación científica.	Entornos experimentales virtuales, representaciones gráficas y numéricas, plataformas digitales de aprendizaje e interacción con actividades prácticas.	Promueve la comprensión de conceptos abstractos, el aprendizaje significativo, la autonomía, la creatividad y el desarrollo de habilidades de análisis e investigación.
Zambrano y Navarrete (2026)	GoLab	Propiedades de la materia, mezclas y separación de sustancias, reacciones químicas simples, enlaces químicos y energía en reacciones.	Implementa actividades de investigación guiada mediante el ciclo ILS (orientación, conceptualización, investigación y conclusión) para desarrollar procesos de aprendizaje científico.	Simulaciones interactivas, actividades guiadas, experimentación virtual y seguimiento estructurado del proceso investigativo.	Fomenta el aprendizaje basado en la indagación, fortalece el razonamiento científico y facilita la construcción progresiva del conocimiento químico.

En el caso de PhET, Ndagijimana et al. (2025) destacan su utilidad para abordar reacciones químicas, reactivos, productos, sobrantes, balanceo de ecuaciones, ácidos, bases y pH. Este simulador se caracteriza por representar procesos químicos a nivel de partículas mediante animaciones computarizadas, favoreciendo la interpretación de fenómenos que resultan difíciles de observar mediante métodos tradicionales. Además, posibilita la manipulación de variables, la realización de experimentos en entornos seguros y el acceso a múltiples representaciones del fenómeno químico. Su aporte didáctico se relaciona con el fortalecimiento de la comprensión conceptual, el desarrollo del pensamiento crítico, la motivación estudiantil y la interacción entre estudiantes y docentes.

ChemCollective, analizado por Okrepka (2022), se orienta principalmente al desarrollo de prácticas de laboratorio virtual en química general y formación farmacéutica. Esta herramienta facilita la preparación de soluciones, la ejecución de experimentos guiados o autónomos, la realización de cálculos químicos y la verificación de resultados. Entre sus recursos interactivos destacan la disponibilidad de reactivos, materiales de laboratorio, equipos e instrucciones digitales. Su principal contribución radica en el fortalecimiento de competencias experimentales e investigativas, al brindar un espacio seguro para la práctica previa de procedimientos y optimizar el uso de recursos materiales.

Por su parte, Crocodile Chemistry, referido por Chonillo-Sislema (2022), permite abordar contenidos relacionados con ácidos y bases, metales, mezclas, reacciones químicas, compuestos no metálicos y electroquímica. Su funcionamiento se basa en la simulación de experimentos mediante la selección de recipientes, reactivos y sustancias químicas, además de la modificación de variables como concentración, tamaño de partículas y flujo de gases. La incorporación de representaciones gráficas y modelos tridimensionales favorece la experimentación virtual y fortalece la relación entre los fundamentos teóricos y su aplicación práctica, especialmente en contextos con limitaciones para acceder a laboratorios físicos.

Chemlab, descrito por Alcántara et al. (2024), se enfoca en conceptos y procesos químicos generales, física y química inorgánica, propiedades de la materia, formación de sustancias y relaciones entre

materia y energía. Sus funciones permiten simular experimentos, modificar variables, observar fenómenos y formular hipótesis mediante procesos de indagación científica. Los recursos gráficos y numéricos incorporados favorecen la interpretación de conceptos abstractos, promoviendo la autonomía, el análisis y la construcción activa del conocimiento químico. Su valor didáctico se relaciona con la posibilidad de emplear la experimentación virtual como estrategia para desarrollar habilidades científicas y resolver problemas mediante metodologías participativas.

GoLab, citado por Zambrano y Navarrete (2026), se caracteriza por integrar simulaciones en diversas áreas científicas, incluida la química, mediante contenidos relacionados con propiedades de la materia, mezclas, separación de sustancias, reacciones químicas simples, enlaces químicos y energía en reacciones. Su principal característica es la aplicación del ciclo ILS, conformado por las fases de orientación, conceptualización, investigación y conclusión. Este enfoque estructura el aprendizaje mediante una secuencia investigativa guiada, en la que el estudiante participa activamente en la construcción del conocimiento. Por ello, su aporte didáctico se vincula con el desarrollo del aprendizaje por indagación y la comprensión progresiva de los fenómenos químicos.

Aporte de los simuladores digitales en la comprensión de la enseñanza de la química

La tabla 3 muestra la contribución de los simuladores digitales en la comprensión de los principales elementos involucrados en el balanceo de ecuaciones químicas. Los resultados evidencian que estas herramientas favorecen la representación visual de conceptos abstractos, permitiendo relacionar símbolos químicos con modelos de partículas y procesos experimentales. Su aplicación contribuye especialmente a superar dificultades asociadas con la identificación de reactivos y productos, interpretación de coeficientes y subíndices, conservación de la masa y comprensión de relaciones estequiométricas.

Tabla 3

Relación entre dificultades del balanceo de ecuaciones químicas y aportes de los simuladores digitales

Aspecto del balanceo	Dificultad habitual	Simulador digital	Aporte del simulador digital	Resultado esperado en el aprendizaje
Reactivos	Dificultad para identificar las sustancias iniciales que participan en una reacción química.	PhET / Crocodile Chemistry	Facilitan la representación visual de las sustancias presentes antes de la reacción y su transformación durante el proceso químico.	Favorecen la identificación de los reactivos y su función dentro de una ecuación química.
Productos	Confusión para reconocer las sustancias generadas como resultado de una reacción química.	PhET / Crocodile Chemistry	Permiten observar la formación de productos y establecer relaciones entre las sustancias iniciales y finales de una reacción.	Mejoran la diferenciación entre reactivos y productos en representaciones químicas.
Coeficientes	Aplicación mecánica o incorrecta de los números utilizados para ajustar la cantidad de sustancias en una ecuación química.	PhET	Permite modificar coeficientes y visualizar los cambios en la cantidad de partículas o moléculas involucradas en la reacción.	Fortalece la comprensión de las proporciones químicas necesarias para balancear ecuaciones.

Subíndices	Confusión entre la cantidad de átomos indicada dentro de una fórmula química y la cantidad total de moléculas presentes.	PhET / ChemLab	Favorece la relación entre fórmulas químicas y modelos de partículas, diferenciando la función de subíndices y coeficientes.	Mejora la interpretación del lenguaje simbólico y la composición de las sustancias químicas.
Conservación de la masa	Dificultad para comprender que la cantidad de átomos permanece constante durante una reacción química.	PhET	Permite comparar la cantidad de átomos presentes en reactivos y productos para verificar el equilibrio de una ecuación química.	Fortalece la comprensión del principio de conservación de la masa durante el balanceo.
Reactivo limitante	Dificultad para identificar la sustancia que se consume primero y determina la cantidad de producto formado.	PhET / ChemCollective	Permiten modificar cantidades de reactivos, observar sustancias sobrantes y analizar la formación de productos.	Favorecen la comprensión de relaciones estequiométricas y proporciones entre reactivos y productos.
Cálculos de masa y moles	Limitaciones para resolver problemas cuantitativos derivados de ecuaciones químicas balanceadas.	ChemCollective / ChemLab	Facilitan la ejecución de experimentos virtuales, la obtención de datos y la comprobación de cálculos químicos.	Desarrollan el razonamiento cuantitativo y la aplicación práctica de relaciones estequiométricas.
Representación molecular	Tendencia a interpretar las ecuaciones únicamente mediante símbolos, sin relacionarlas con partículas y procesos microscópicos.	PhET / Crocodile Chemistry / ChemLab	Integran ecuaciones químicas con modelos moleculares, partículas, gráficos y representaciones dinámicas.	Favorecen la conexión entre los niveles macroscópico, microscópico y simbólico de la química.

En relación con los reactivos y productos, los simuladores digitales facilitan la identificación de las sustancias que intervienen al inicio de una reacción y aquellas que se generan como resultado del proceso químico. Esta visualización contribuye a que el estudiante comprenda que una ecuación química no constituye únicamente una expresión escrita, sino la representación simbólica de una transformación de la materia. En este contexto, herramientas como PhET y Crocodile Chemistry favorecen la articulación entre el lenguaje químico y los fenómenos representados, fortaleciendo la comprensión de la estructura y dinámica de una reacción.

Respecto a los coeficientes y subíndices, los simuladores digitales favorecen la diferenciación entre la cantidad de moléculas y el número de átomos representados en una fórmula química. Esta distinción resulta fundamental, debido a que varios errores durante el balanceo se producen cuando los estudiantes modifican subíndices en lugar de ajustar coeficientes. La posibilidad de manipular cantidades y observar sus efectos en modelos moleculares facilita la interpretación de las relaciones cuantitativas y favorece la aplicación adecuada del procedimiento de balanceo.

En cuanto a la conservación de la masa, los simuladores ofrecen un aporte didáctico relevante al permitir comprobar visualmente que la cantidad de átomos permanece constante antes y después de

una reacción química. Esta representación ayuda a comprender que el balanceo responde a un principio químico fundamental y no únicamente a una operación matemática. La observación de la reorganización de los átomos, sin pérdida ni generación de materia, permite construir una comprensión más profunda del significado químico del equilibrio de una ecuación.

Por otra parte, simuladores como ChemCollective y ChemLab contribuyen al desarrollo de habilidades relacionadas con los aspectos cuantitativos de las ecuaciones químicas, incluyendo cálculos de masa, cantidad de sustancia y relaciones estequiométricas. Estos recursos posibilitan la realización de experimentos virtuales, la manipulación de cantidades y la verificación de resultados, favoreciendo el razonamiento químico y la aplicación de procedimientos en escenarios controlados. Este aporte resulta relevante porque la comprensión de estas relaciones constituye una base para el abordaje de contenidos más complejos, como la estequiometría y la identificación del reactivo limitante.

4. Discusión

Los resultados obtenidos permiten establecer que las dificultades en el aprendizaje de reacciones químicas y balanceo de ecuaciones se relacionan principalmente con la interpretación del lenguaje químico, la comprensión conceptual de las transformaciones de la materia y la aplicación de procedimientos cuantitativos. Estos hallazgos coinciden con lo señalado por Echeverría (2023), quien plantea que el balanceo de ecuaciones constituye una habilidad fundamental para comprender las reacciones químicas al verificar la conservación de los átomos entre reactivos y productos. Sin embargo, la evidencia analizada muestra que esta competencia presenta limitaciones en los estudiantes, especialmente al transformar enunciados verbales en ecuaciones químicas, identificar relaciones estequiométricas y desarrollar cálculos derivados de las ecuaciones balanceadas. Esto sugiere que la dificultad no se encuentra únicamente en la aplicación del algoritmo de balanceo, sino en la interpretación del significado químico y cuantitativo de las representaciones utilizadas.

En relación con las dificultades conceptuales, los resultados se vinculan con lo expuesto por Chonillo-Sislema et al. (2024), quienes identifican que los estudiantes perciben la química como una disciplina abstracta debido a la dificultad para visualizar sus conceptos y relacionarlos con situaciones prácticas. Esta interpretación coincide con los hallazgos de la Tabla 1, donde se evidencia una dependencia de representaciones simbólicas sin una adecuada integración con el nivel submicroscópico de la materia. Por tanto, la problemática identificada trasciende el reconocimiento de fórmulas químicas, ya que implica comprender que estas representan partículas, transformaciones y relaciones cuantitativas dentro de un proceso químico.

De manera complementaria, Rezabala-Zambrano y Caballero-Vera (2026) sostienen que la limitada disponibilidad de recursos experimentales, digitales e interactivos puede afectar la construcción de aprendizajes significativos al reducir la relación entre teoría, práctica y representación molecular. Esta perspectiva se relaciona con los resultados obtenidos, debido a que varias dificultades identificadas corresponden a la imposibilidad de visualizar y manipular fenómenos químicos que generalmente se presentan de forma abstracta en el aula. En consecuencia, la enseñanza basada únicamente en la memorización de procedimientos y repetición de ejercicios puede resultar insuficiente para desarrollar una comprensión integral del balanceo de ecuaciones químicas.

Respecto al uso de simuladores digitales, la Tabla 2 evidencia que herramientas como PhET, ChemCollective, Crocodile Chemistry, ChemLab y GoLab incorporan funciones orientadas a la

visualización de fenómenos, manipulación de variables, experimentación segura y aprendizaje basado en la indagación. Estos resultados guardan correspondencia con Mainato et al. (2023), quienes señalan que los recursos digitales favorecen ambientes de aprendizaje más dinámicos e interactivos cuando se integran mediante una planificación didáctica adecuada. En este sentido, la tecnología educativa representa una alternativa para ampliar las estrategias de enseñanza química, aunque su efectividad depende de la intencionalidad pedagógica con la que sea incorporada.

El caso de PhET adquiere especial relevancia debido a que Ndagijimana et al. (2025) destacan su aplicación en contenidos relacionados con reacciones químicas, reactivos, productos, sobrantes, balanceo de ecuaciones, ácidos, bases y pH. La evidencia analizada permite interpretar que este simulador contribuye principalmente a superar dificultades asociadas con la representación microscópica de los fenómenos químicos, al facilitar la observación de partículas y relaciones entre componentes de una reacción. Este resultado coincide con Sailema-Castro et al. (2025), quienes señalan que las simulaciones favorecen la visualización de fenómenos químicos y la articulación entre teoría y práctica. A diferencia de una enseñanza limitada a la expresión simbólica, PhET posibilita relacionar ecuaciones, modelos moleculares y conservación de átomos durante una reacción.

Por otra parte, ChemCollective y ChemLab amplían el aporte de los simuladores hacia dimensiones experimentales y cuantitativas del aprendizaje químico. Okrepka (2022) destaca que ChemCollective permite desarrollar prácticas de laboratorio virtual, preparar soluciones, efectuar cálculos y verificar resultados, mientras que Alcántara et al. (2024) señalan que ChemLab favorece la formulación de hipótesis, manipulación de variables y análisis de fenómenos químicos. Estos aportes se relacionan con las dificultades identificadas en los cálculos basados en ecuaciones químicas y en la comprensión del reactivo limitante, debido a que ambas herramientas ofrecen escenarios para practicar relaciones entre cantidades de sustancias, masa y moles. De esta manera, los simuladores no se limitan a representar conceptos abstractos, sino que también favorecen el desarrollo del razonamiento cuantitativo requerido para interpretar procesos estequiométricos.

5. Conclusiones

Las principales dificultades identificadas en el aprendizaje de reacciones químicas y balanceo de ecuaciones se relacionan con la transformación de enunciados verbales al lenguaje químico, la identificación del reactivo limitante, la resolución de cálculos basados en ecuaciones, el uso adecuado de símbolos químicos y la diferenciación entre coeficientes y subíndices. Estos hallazgos evidencian que las limitaciones no corresponden únicamente al procedimiento operativo del balanceo, sino también a la interpretación del lenguaje simbólico, la representación submicroscópica y las relaciones cuantitativas involucradas en las reacciones químicas.

Los simuladores digitales analizados, como PhET, ChemCollective, Crocodile Chemistry, ChemLab y GoLab, se caracterizan por incorporar recursos orientados a la visualización de fenómenos químicos, la manipulación de variables, la experimentación virtual y el aprendizaje guiado. Estas herramientas favorecen la representación de procesos abstractos mediante entornos interactivos y seguros, constituyéndose en recursos didácticos complementarios para fortalecer la enseñanza de reacciones químicas y balanceo de ecuaciones, siempre que sean integrados mediante una planificación pedagógica adecuada.

El análisis realizado permitió determinar que los simuladores digitales contribuyen a la comprensión de reactivos, productos, coeficientes, subíndices y conservación de la masa, al facilitar la

conexión entre las representaciones simbólicas y los modelos moleculares de las reacciones químicas. Su aplicación favorece la interpretación de las sustancias involucradas, las proporciones químicas y la conservación de los átomos durante el proceso de balanceo, promoviendo un aprendizaje más activo, visual y conceptual de los contenidos químicos.

Referencias

Alarcón, M., Bravo, A., Segarra, O., & Bernardes, K. (2025). Manual digital para potenciar el uso del simulador PhET como recurso didáctico en la asignatura de biología. *AlfaPublicaciones, 7*(3.1), 231–249. https://doi.org/10.33262/ap.v7i3.1.649

Alcántara, J., Iberico Aguilar, R., & Aguayo Meléndez, A. (2024). Influencia del laboratorio Chemlab en el aprendizaje de los estudiantes de educación básica regular. *SEARCHING, 5*(2), 93–104. https://doi.org/10.46363/searching.v5i2.8

Alfaro, N., & Ramos, G. (2023). *Balance de reacciones químicas mediante herramientas informáticas en Python*. http://hdl.handle.net/20.500.14067/9426

Barradas-Arenas, U., Cocón-Juárez, J., Pérez-Cruz, D., & Vázquez-Aragón, M. (2023). El impacto de los simuladores en el aprendizaje de los sistemas digitales. *Revista Tecnológica-Educativa Docentes 2.0, 16*(1), 67–76. https://doi.org/10.37843/rted.v16i1.350

Chonillo-Sislema, L. (2022). El laboratorio virtual "Crocodile Chemistry" como estrategia didáctica para el aprendizaje de química. En *Actas del Congreso Internacional de Innovación, Ciencia y Tecnología (INUDI–UH, 2022)*. Instituto Universitario de Innovación Ciencia y Tecnología Inudi Perú. https://doi.org/10.35622/inudi.c.01.07

Chonillo-Sislema, L., Heredia-Gavin, D., Chayña-Apaza, J., Ramos-Pineda, Z., & Sánchez-Solórzano, J. (2024). Dificultades en el aprendizaje de química en el bachillerato, desde la opinión del alumnado y algunas alternativas para superarlas. *Revista Innova Educación, 6*(1), 71–88. https://doi.org/10.35622/inudi.c.02.23

Cuchillac, V. (2024). Simuladores virtuales: análisis de experiencias de aprendizaje. *Realidad y Reflexión, 1*(59), 159–177. https://doi.org/10.5377/ryr.v1i59.18714

Echeverría, S. (2023). Balanceo de ecuaciones químicas método ion electrón medio ácido y básico. *Código Científico Revista de Investigación, 4*(2), 1013–1022. https://doi.org/10.55813/gaea/ccri/v4/n2/271

Emeka, A., & Njoku, Z. (2023). Examining the effect of inquiry teaching method on student achievement in writing and balancing chemical equations. *African Journal of Science, Technology and Mathematics, 9*(6), 487–492. https://n9.cl/1q4xqo

García, C., Ruiz, F., Aldá, L., & Gómez, R. (2024). Didáctica de la química desde la nueva visión de la ciencia. *Revista Social Fronteriza, 4*(5), e45448. https://doi.org/10.59814/resofro.2024.4(5)448

Hamerská, L., Matěcha, T., Tóthová, M., & Rusek, M. (2024). Between symbols and particles: Investigating the complexity of learning chemical equations. *Education Sciences, 14*(6), 570. https://doi.org/10.3390/educsci14060570

Mainato, E., Chávez, K., & González, L. (2023). Impacto de los recursos digitales en la enseñanza de las ciencias naturales. *Mamakuna: Revista de Divulgación de Experiencias Pedagógicas*, (20), 36–47. https://doi.org/10.70141/mamakuna.20.810

Ndagijimana, J., Musengimana, J., Mushimiyimana, H., Mukama, E., Habimana, O., Manirakiza, P., Dushimimana, J., Munyaruhengeri, J., Khan, S., & Lakin, E. (2025). Contribution of an instructional module incorporating PhET simulations to Rwandan students' knowledge of chemical reactions, acids, and bases through social interactions. *Chemistry Education Research and Practice, 26*(1), 289–299. https://doi.org/10.1039/D4RP00105B

Ogundiji, O. (2024). Diagnosis of students' difficulties in balancing chemical equations in some selected senior secondary schools in Ibadan, Nigeria. *Journal of General Education and Humanities, 3*(4), 359–368. https://doi.org/10.58421/gehu.v3i4.262

Okrepka, H. (2022). Virtual Laboratory ChemCollective: Features, Benefits and Prospects of Using in Chemistry Practical Classes in Higher Education Establishments. *Problems of Education, 1*(96), 120–133. https://doi.org/10.52256/2710-3986.1-96.2022.08

Ortiz-Velásquez, N., Valencia-Cabrera, Y., Campoverde-Martínez, G., Flores-Cumbicus, R., & Núñez-Naranjo, A. (2025). El uso de simuladores digitales para la enseñanza de ciencias sociales. *593 Digital Publisher CEIT, 10*(Extra 1-2), 97–112. https://n9.cl/z0845

Rezabala-Zambrano, P., & Caballero-Vera, H. (2026). Estrategia didáctica para optimizar el aprendizaje de química en tercer año de bachillerato. *Revista Científica Multidisciplinaria HEXACIENCIAS, 6*(11), 2–28. https://n9.cl/c61ch

Sailema-Castro, R., Licoa-Vera, G., Carlin-Chávez, E., & Bernardes-Carballo, K. (2025). Impacto del uso de los simuladores PhET en la enseñanza de química para bachillerato: desafíos y oportunidades docentes. *Código Científico Revista de Investigación, 6*(1), 507–534. https://doi.org/10.55813/gaea/ccri/v6/n1/903

Sánchez, G., & Lorenzo, M. (2026). Hacer química, hacer comunidad: desafíos actuales de la enseñanza de la química. *Educación en la Química, 32*(01), 1–7. https://id.caicyt.gov.ar/ark:/s23449683/7l7que7a8

Zambrano, K., & Navarrete, N. (2026). Uso de simuladores virtuales para la enseñanza de la química. *Código Científico Revista de Investigación, 7*(E1), 2763–2787. https://doi.org/10.55813/gaea/ccri/v7/nE1/1151

Transparencia

Conflicto de interés

Los autores declaran que no existen conflictos de interés de naturaleza alguna como parte de la presente investigación.

Fuente de financiamiento

Los autores financiaron completamente la investigación.

Contribución de autoría

Karen Elizabeth Macías Erazo: Conceptualización, software, validación, análisis formal, investigación, gestión de datos, visualización, redacción - preparación del borrador original, redacción - revisión y edición, financiamiento, administración del proyecto, recursos, supervisión.

Sandra Verónica Mera Ponce: Metodología, análisis formal, investigación, gestión de datos, redacción - preparación del borrador original, redacción - revisión y edición, financiamiento, recursos.

Los autores contribuyeron activamente en el análisis de los resultados, revisión y aprobación del manuscrito final.