

Herramientas digitales e inteligencia artificial en la enseñanza de la química: oportunidades y desafíos

Digital Tools and Artificial Intelligence in Chemistry Teaching: Opportunities and Challenges

Katherine Lisbeth Bonilla Junco ^[0009-0008-3440-0412]  Juan José Magi Sani ^[0009-0007-3081-8902] 

Investigador Independiente, Riobamba, Chimborazo, Ecuador.

katlisbonilla@gmail.com josemagi397@gmail.com

CITA EN APA:

Bonilla Junco, K. L., & Magi Sani, J. J. (2026). Herramientas digitales e inteligencia artificial en la enseñanza de la química: oportunidades y desafíos. *Tesla Revista Científica*, 6(1), e659. <https://tesla.puertomaderoeditorial.com.ar/index.php/tesla/article/view/659>

Recibido: 2026-04-25

Aceptado: 2026-06-01

Publicado: 2026-06-08

TESLA

Revista Científica

ISSN: 2953-4275



Los contenidos de este artículo están bajo una licencia de Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)

Los autores conservan los derechos morales y patrimoniales de sus obras.

The contents of this article are under a Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) license. The authors retain the moral and patrimonial rights of their works.

Resumen. El presente artículo analiza el uso de herramientas digitales e inteligencia artificial en la enseñanza de la química, con énfasis en sus oportunidades pedagógicas y desafíos de implementación. Se desarrolló una revisión bibliográfica basada en la metodología PRISMA 2020, mediante la cual se identificaron inicialmente 95 registros en bases de datos académicas y fuentes complementarias. Tras eliminar duplicados, aplicar criterios de inclusión y exclusión, y evaluar los textos completos, se seleccionaron 15 estudios para el análisis final. Los resultados evidencian que las simulaciones, laboratorios virtuales, realidad aumentada, visualización 3D, plataformas digitales y herramientas de inteligencia artificial generativa favorecen la comprensión de conceptos abstractos, la experimentación segura, la motivación, el aprendizaje activo y la retroalimentación personalizada. Sin embargo, también se identifican desafíos vinculados con la brecha digital, la formación docente, la confiabilidad de la IA, la ética académica y el riesgo de uso superficial de la tecnología. Se concluye que estas herramientas deben integrarse de manera crítica, planificada y pedagógicamente fundamentada.

Palabras Clave: Inteligencia artificial; herramientas digitales; enseñanza de la química; PRISMA; educación química.

Abstract: This article analyzes the use of digital tools and artificial intelligence in chemistry teaching, with emphasis on their pedagogical opportunities and implementation challenges. A bibliographic review was conducted based on the PRISMA 2020 methodology, through which 95 records were initially identified from academic databases and complementary sources. After removing duplicates, applying inclusion and exclusion criteria, and assessing full-text documents, 15 studies were selected for the final analysis. The results show that simulations, virtual laboratories, augmented reality, 3D visualization, digital platforms, and generative artificial intelligence tools support the understanding of abstract concepts, safe experimentation, motivation, active learning, and personalized feedback. However, challenges were also identified regarding the digital divide, teacher training, AI reliability, academic ethics, and the risk of superficial technology use. It is concluded that these tools should be integrated in a critical, planned, and pedagogically grounded manner.

Keywords: Artificial intelligence; digital tools; chemistry teaching; PRISMA; chemistry education.

1. INTRODUCCIÓN

La enseñanza de la química enfrenta el desafío permanente de facilitar la comprensión de fenómenos abstractos, microscópicos y simbólicos, tales como la estructura molecular, las reacciones químicas, la estequiometría, el equilibrio químico y la relación entre los niveles macroscópico, submicroscópico y

representacional. En este contexto, las herramientas digitales han adquirido una relevancia creciente, ya que permiten representar visualmente procesos invisibles, promover la interacción con modelos dinámicos y ampliar las posibilidades de experimentación más allá del laboratorio físico. Diversos estudios han señalado que el aprendizaje de la química mediado por tecnología se ha consolidado como un campo de investigación en expansión, especialmente por su potencial para mejorar la experiencia de aprendizaje, favorecer el desarrollo de habilidades y apoyar la comprensión conceptual de los estudiantes (Wu et al., 2021).

Entre las herramientas digitales más utilizadas en la enseñanza de la química se encuentran las simulaciones computacionales, los laboratorios virtuales, los recursos multimedia, las plataformas de aprendizaje, la realidad aumentada, la realidad virtual y las tecnologías de visualización tridimensional. Estas herramientas ofrecen oportunidades pedagógicas importantes, debido a que permiten al estudiante manipular variables, observar fenómenos químicos en entornos seguros y repetir experiencias de aprendizaje según sus necesidades. En particular, los laboratorios virtuales han sido destacados como recursos útiles para complementar o sustituir parcialmente las prácticas presenciales, especialmente cuando existen limitaciones de infraestructura, costos, seguridad o acceso a materiales experimentales (Chan et al., 2021).

Asimismo, la realidad aumentada y la visualización 3D han mostrado un aporte significativo en la enseñanza de contenidos químicos que requieren alto nivel de abstracción, como la geometría molecular, la isomería, los enlaces químicos y las interacciones intermoleculares. Estas tecnologías facilitan la transición entre representaciones bidimensionales y tridimensionales, lo cual resulta especialmente relevante en química orgánica e inorgánica. Sin embargo, su implementación no depende únicamente de la disponibilidad tecnológica, sino también de la planificación didáctica, la formación docente y la integración coherente con los objetivos curriculares. Por ello, algunos autores advierten que las herramientas digitales no deben ser incorporadas como simples recursos novedosos, sino como medios pedagógicos con valor agregado para el aprendizaje (Wohlfart et al., 2023).

En los últimos años, la inteligencia artificial ha introducido nuevas posibilidades para la enseñanza y el aprendizaje de la química. Los sistemas basados en IA, especialmente los chatbots y modelos generativos como ChatGPT, pueden apoyar la resolución de problemas, la explicación de conceptos, la generación de ejemplos, la retroalimentación personalizada y el desarrollo del pensamiento crítico. Investigaciones recientes han explorado el uso de ChatGPT en cursos introductorios de química, señalando su potencial para promover actividades de revisión, validación de información y análisis crítico de respuestas generadas por IA (Guo & Lee, 2023). De igual manera, revisiones recientes sobre IA en educación científica y química muestran un crecimiento marcado de estudios entre 2021 y 2024, con énfasis

en chatbots, aprendizaje personalizado y resultados asociados al proceso de aprendizaje (Erümit & Sarialioğlu, 2025).

No obstante, la incorporación de inteligencia artificial en la enseñanza de la química también plantea desafíos relevantes. Entre ellos se encuentran la precisión de las respuestas generadas, la posibilidad de errores conceptuales, la dependencia excesiva de los estudiantes, el plagio académico, la falta de alfabetización digital, la protección de datos y la necesidad de criterios éticos para su uso educativo. En este sentido, la IA no debe concebirse como sustituto del docente, sino como una herramienta de apoyo que requiere mediación pedagógica, evaluación crítica y orientación didáctica. La literatura reciente insiste en que el uso de IA generativa en química debe acompañarse de alfabetización en IA, diseño instruccional riguroso y estrategias que permitan a los estudiantes contrastar, verificar y reflexionar sobre la información recibida (Yuriev et al., 2024; Guo & Lee, 2023).

A pesar del creciente interés por las herramientas digitales y la inteligencia artificial en la educación química, la evidencia disponible se encuentra dispersa en estudios sobre tecnologías específicas, niveles educativos diversos y enfoques metodológicos heterogéneos. Por ello, resulta pertinente realizar una revisión bibliográfica con metodología PRISMA que permita identificar, seleccionar y analizar sistemáticamente las investigaciones publicadas sobre el uso de herramientas digitales e inteligencia artificial en la enseñanza de la química. Esta revisión permitirá reconocer las principales oportunidades pedagógicas, los desafíos de implementación, las tendencias investigativas y las brechas existentes en la literatura, aportando una visión organizada y crítica para docentes, investigadores e instituciones educativas.

En consecuencia, el presente artículo tiene como objetivo analizar, mediante una revisión bibliográfica basada en la metodología PRISMA, las oportunidades y desafíos asociados al uso de herramientas digitales e inteligencia artificial en la enseñanza de la química. Para ello, se examinarán estudios relacionados con laboratorios virtuales, simulaciones, realidad aumentada, visualización 3D, plataformas digitales, chatbots e inteligencia artificial generativa, con el propósito de comprender su impacto potencial en los procesos de enseñanza-aprendizaje y sus implicaciones pedagógicas, éticas y tecnológicas.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Enseñanza de la química y necesidad de mediaciones digitales

La química es una disciplina fundamental para comprender la composición, estructura, propiedades y transformaciones de la materia. Sin embargo, su enseñanza presenta desafíos particulares debido a que muchos de sus conceptos no pueden observarse directamente en la experiencia cotidiana. Temas como el enlace químico, la geometría molecular, las interacciones intermoleculares, el equilibrio químico, la

cinética, la estequiometría o los mecanismos de reacción requieren que el estudiante relacione fenómenos visibles con modelos abstractos y representaciones simbólicas. Por esta razón, el aprendizaje de la química exige articular tres niveles de representación: el macroscópico, referido a los fenómenos observables; el submicroscópico, vinculado con partículas, átomos, iones y moléculas; y el simbólico, expresado mediante fórmulas, ecuaciones, gráficos y modelos matemáticos.

Desde esta perspectiva, las herramientas digitales adquieren importancia porque permiten representar procesos que no son perceptibles a simple vista, dinamizar explicaciones, simular reacciones, visualizar estructuras tridimensionales y favorecer la interacción del estudiante con modelos químicos. La literatura reciente muestra que el aprendizaje de la química mediado por tecnología ha pasado de centrarse únicamente en dispositivos o recursos digitales a interesarse también por la experiencia del estudiante, el desarrollo de habilidades y el diseño pedagógico de las actividades de aprendizaje (Wu et al., 2021).

En consecuencia, el uso de herramientas digitales en química no debe entenderse como una simple modernización instrumental, sino como una estrategia pedagógica orientada a mejorar la comprensión conceptual, fortalecer la motivación, diversificar las formas de representación y apoyar la construcción activa del conocimiento. No obstante, su efectividad depende de la manera en que son integradas al currículo, del rol del docente, de la disponibilidad tecnológica y de la coherencia entre recurso, objetivo de aprendizaje y evaluación.

2.2 Herramientas digitales en la enseñanza de la química

Las herramientas digitales en la enseñanza de la química comprenden un conjunto amplio de recursos tecnológicos utilizados para apoyar la explicación, exploración, práctica, evaluación y comunicación del conocimiento químico. Entre ellas se incluyen simulaciones interactivas, laboratorios virtuales, plataformas de aprendizaje, aplicaciones móviles, recursos multimedia, visualizadores moleculares, realidad aumentada, realidad virtual, sistemas de evaluación en línea y entornos de colaboración digital.

Estas herramientas permiten crear experiencias de aprendizaje más flexibles, visuales e interactivas. En lugar de limitarse a recibir información de forma pasiva, el estudiante puede manipular variables, observar consecuencias, repetir procedimientos, comparar resultados y construir explicaciones a partir de la experimentación virtual. Wu et al. (2021) señalan que las investigaciones sobre aprendizaje de química apoyado por tecnología han abordado distintos tipos de herramientas, dispositivos, estrategias y tópicos de aprendizaje, lo cual evidencia la diversidad del campo y su creciente relevancia para la educación científica.

Sin embargo, el valor educativo de estas herramientas no reside únicamente en su disponibilidad. Una simulación, una plataforma o una aplicación no garantiza por sí misma un aprendizaje profundo. Su impacto depende de que exista una planificación didáctica clara, preguntas orientadoras, actividades de

análisis, retroalimentación y espacios de discusión. En este sentido, la tecnología debe ser entendida como una mediación pedagógica y no como un sustituto del proceso de enseñanza.

2.3 Simulaciones computacionales y visualización molecular

Las simulaciones computacionales constituyen una de las herramientas digitales más utilizadas en la enseñanza de la química. Su principal aporte consiste en permitir que los estudiantes observen y manipulen modelos dinámicos de fenómenos químicos que, en el laboratorio físico o en el aula tradicional, pueden ser difíciles de representar. Mediante simulaciones, es posible modificar concentraciones, temperatura, presión, volumen, energía, tipo de moléculas o condiciones de reacción, y observar los efectos de esos cambios en tiempo real.

En química, estas herramientas son especialmente útiles para abordar contenidos abstractos como estructura atómica, enlaces químicos, polaridad, equilibrio, soluciones, gases, cinética química y termodinámica. También favorecen la comprensión de relaciones causa-efecto, ya que el estudiante puede experimentar con variables y contrastar hipótesis sin los riesgos, costos o limitaciones materiales de un laboratorio real.

Desde el punto de vista pedagógico, las simulaciones favorecen el aprendizaje activo porque invitan al estudiante a explorar, predecir, comprobar y explicar. No obstante, su uso requiere acompañamiento docente. Si el estudiante interactúa con una simulación sin orientación, puede centrarse en aspectos superficiales o manipular elementos sin comprender el fenómeno representado. Por ello, las simulaciones deben integrarse con guías de trabajo, preguntas de indagación, actividades de reflexión y evaluación conceptual.

2.4 Laboratorios virtuales en química

Los laboratorios virtuales son entornos digitales que reproducen procedimientos, instrumentos, materiales y fenómenos propios del laboratorio químico. Pueden funcionar como complemento del laboratorio presencial, como preparación previa para prácticas reales o como alternativa cuando existen restricciones de infraestructura, seguridad, tiempo, costos o acceso a reactivos.

Chan et al. (2021) realizaron una revisión sistemática sobre laboratorios virtuales de química y destacaron que estos recursos han sido estudiados desde distintas perspectivas, incluyendo tipos de tecnología, teorías de aprendizaje y elementos de diseño instruccional. Los autores señalan que los laboratorios virtuales son particularmente útiles en contextos donde el acceso al laboratorio físico es limitado, pero también enfatizan que su efectividad depende de los apoyos pedagógicos incorporados en el diseño de la actividad.

Entre sus principales ventajas se encuentran la posibilidad de repetir experimentos, disminuir riesgos, reducir costos, visualizar procesos microscópicos, preparar al estudiante antes de una práctica presencial y promover la autonomía. Además, permiten que el estudiante cometa errores sin consecuencias peligrosas, lo que puede favorecer el aprendizaje por ensayo, análisis y corrección.

No obstante, también presentan limitaciones. Un laboratorio virtual no reemplaza completamente la experiencia sensorial, manual y procedimental del laboratorio físico. Manipular materiales, medir, observar cambios reales, controlar instrumentos y desarrollar habilidades experimentales son aspectos que requieren práctica presencial. Por ello, una de las alternativas más sólidas es el uso combinado de laboratorios virtuales y laboratorios físicos, de modo que lo digital fortalezca la preparación, comprensión y análisis, mientras que lo presencial desarrolle habilidades prácticas y científicas.

2.5 Realidad aumentada, realidad virtual y visualización 3D

La realidad aumentada y la realidad virtual han adquirido relevancia en la enseñanza de la química porque permiten representar estructuras y procesos complejos en formatos inmersivos o tridimensionales. La realidad aumentada superpone información digital sobre el entorno real, mientras que la realidad virtual crea ambientes simulados en los que el usuario puede interactuar con objetos y escenarios digitales.

En química, estas tecnologías son especialmente valiosas para la comprensión de geometría molecular, orbitales, isomería, redes cristalinas, mecanismos de reacción y estructuras tridimensionales. La posibilidad de rotar, ampliar, descomponer o manipular modelos moleculares facilita la transición entre representaciones bidimensionales y tridimensionales, una dificultad frecuente en el aprendizaje químico.

Mazzuco et al. (2022) sostienen que la realidad aumentada se ha convertido en un recurso pedagógico importante para mejorar la comprensión de conceptos complejos en química, aunque su implementación requiere análisis didáctico, criterios tecnológicos y evaluación de su impacto en el aprendizaje. De forma similar, Abdinejad et al. (2021) muestran que las tecnologías de visualización 3D y realidad aumentada pueden favorecer percepciones positivas de los estudiantes en educación química, especialmente cuando se aplican a contenidos que demandan razonamiento espacial.

A pesar de sus beneficios, estas tecnologías también presentan desafíos. Entre ellos se encuentran el costo de dispositivos, la necesidad de conectividad, la capacitación docente, la disponibilidad de software adecuado, la posible sobrecarga cognitiva y el riesgo de que el estudiante se enfoque más en la novedad tecnológica que en el contenido químico. Por tanto, su integración debe responder a objetivos concretos de aprendizaje y no únicamente al atractivo visual del recurso.

2.6 Plataformas digitales, aprendizaje híbrido y recursos multimedia

Las plataformas digitales de aprendizaje, como entornos virtuales, aulas en línea y sistemas de gestión del aprendizaje, permiten organizar contenidos, actividades, evaluaciones, foros, retroalimentación y materiales complementarios. En la enseñanza de la química, estas plataformas pueden alojar videos explicativos, simulaciones, cuestionarios, guías de laboratorio, informes, rúbricas, recursos interactivos y actividades colaborativas.

El aprendizaje híbrido, que combina experiencias presenciales y virtuales, ofrece una oportunidad para reorganizar el tiempo pedagógico. Los contenidos teóricos pueden revisarse mediante recursos digitales antes de la clase, mientras que el tiempo presencial puede dedicarse a resolución de problemas, experimentación, discusión y aplicación. Esta lógica se vincula con modelos como el aula invertida, en la cual el estudiante revisa materiales previamente y luego participa en actividades de mayor demanda cognitiva durante la clase.

En química, los recursos multimedia pueden facilitar la comprensión al presentar explicaciones mediante texto, imagen, animación, audio, video y modelos interactivos. Sin embargo, su diseño debe cuidar la carga cognitiva. Un recurso visualmente atractivo puede resultar poco efectivo si contiene información excesiva, animaciones innecesarias o elementos distractores. Por ello, el diseño multimedia debe ser coherente, progresivo y centrado en los conceptos clave.

2.7 Inteligencia artificial en educación química

La inteligencia artificial se refiere al conjunto de sistemas computacionales capaces de realizar tareas que normalmente requieren procesos asociados a la inteligencia humana, como reconocimiento de patrones, generación de lenguaje, análisis de datos, toma de decisiones, personalización de contenidos y retroalimentación automatizada. En educación, la IA se ha utilizado en sistemas tutoriales inteligentes, analítica del aprendizaje, evaluación automatizada, recomendación de recursos, chatbots, generación de contenidos y apoyo a la escritura académica.

En el campo de la educación científica y química, el interés por la IA ha crecido de forma notable en los últimos años. Erümit y Sarialioğlu (2025), en una revisión sistemática sobre inteligencia artificial en educación científica y química entre 2014 y 2024, identificaron un aumento de estudios especialmente entre 2021 y 2024, así como un uso frecuente de ChatGPT y robots conversacionales. También reportaron que las investigaciones suelen centrarse en resultados de aprendizaje y que los riesgos éticos aparecen como una de las principales limitaciones señaladas por la literatura.

En química, la IA puede apoyar la explicación de conceptos, la resolución guiada de problemas, la generación de preguntas, la retroalimentación personalizada, la preparación de materiales, la traducción de

lenguaje técnico a explicaciones accesibles y la creación de actividades diferenciadas. Asimismo, puede ayudar a los docentes a diseñar rúbricas, planificaciones, bancos de preguntas, casos contextualizados y estrategias de evaluación formativa.

3. METODOLOGÍA

3.1 Diseño del estudio

El presente artículo se desarrollará mediante una revisión bibliográfica de tipo sistemático, orientada a identificar, seleccionar, analizar y sintetizar la producción científica relacionada con el uso de herramientas digitales e inteligencia artificial en la enseñanza de la química. Para garantizar transparencia, rigurosidad y reproducibilidad en el proceso de búsqueda y selección de los estudios, se seguirá la declaración PRISMA 2020 (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*), la cual actualiza la versión de 2009 e incluye una lista de verificación de 27 ítems y diagramas de flujo para reportar revisiones sistemáticas de manera clara y completa (Page et al., 2021). PRISMA 2020 es una guía de reporte, no un método estadístico en sí mismo, por lo que será empleada como marco para documentar las fases de identificación, cribado, elegibilidad e inclusión de los estudios.

La revisión tendrá un enfoque cualitativo-descriptivo, debido a que se buscará examinar tendencias, oportunidades, desafíos, aplicaciones pedagógicas y limitaciones reportadas en la literatura científica. No se realizará metaanálisis, dado que se prevé que los estudios incluidos presenten diversidad en niveles educativos, diseños metodológicos, tipos de herramientas tecnológicas, variables analizadas y formas de medición de resultados.

El objetivo de la revisión es analizar la evidencia científica disponible sobre el uso de herramientas digitales e inteligencia artificial en la enseñanza de la química, identificando sus principales oportunidades pedagógicas, desafíos de implementación y tendencias investigativas.

- Pregunta de investigación

La pregunta orientadora de la revisión será:

¿Qué oportunidades y desafíos reporta la literatura científica sobre el uso de herramientas digitales e inteligencia artificial en la enseñanza de la química?

- Estrategia de búsqueda

La búsqueda bibliográfica se realizará en bases de datos académicas reconocidas por su cobertura en educación, ciencias, tecnología y publicaciones revisadas por pares. Se propone consultar las siguientes

fuentes: Bases de datos principales: Scopus, Web of Science, ScienceDirect, SpringerLink, Taylor & Francis Online, ACS Publications, MDPI, Google Scholar, como fuente complementaria de rastreo.

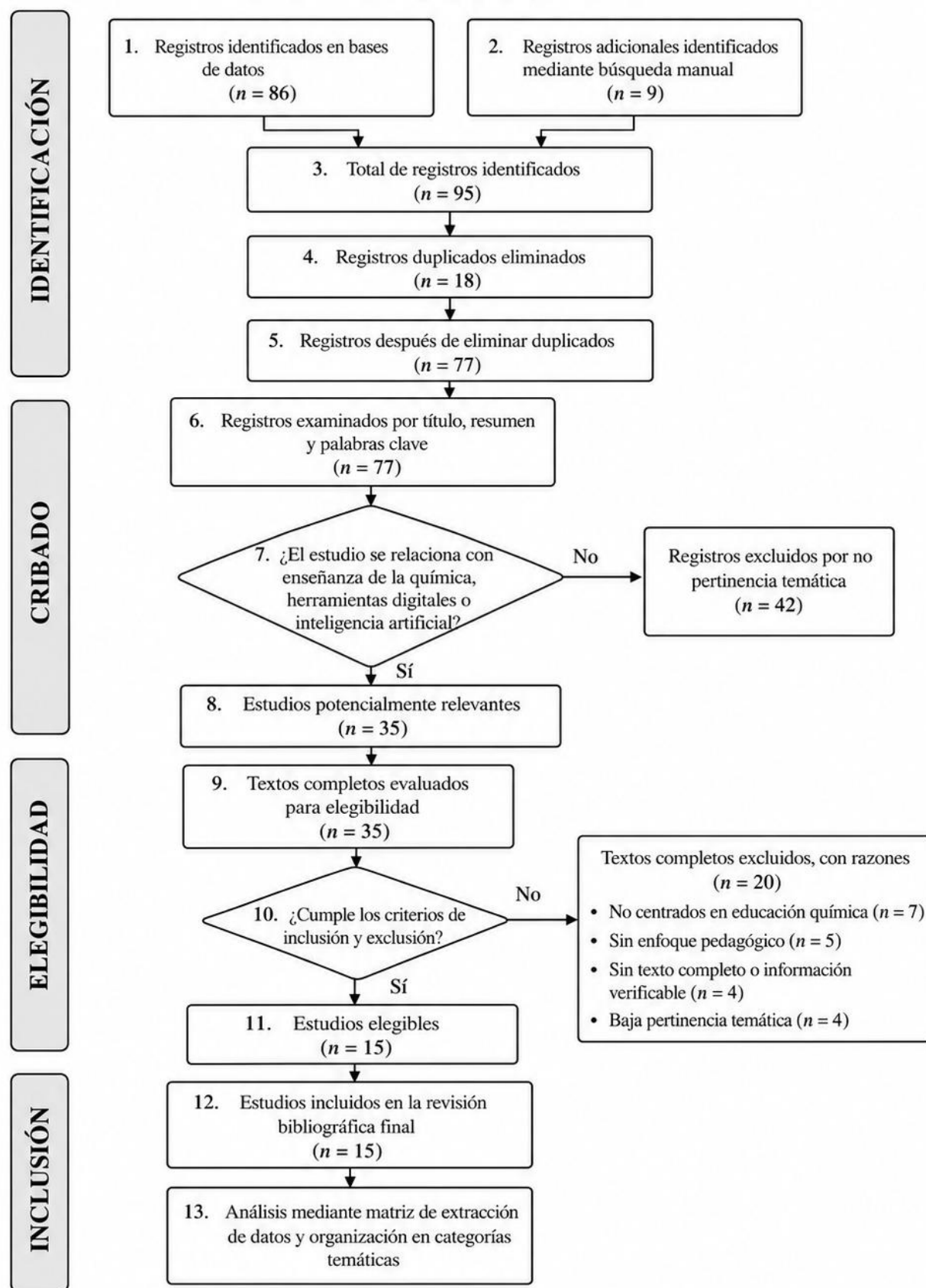
La búsqueda se centrará en publicaciones comprendidas entre 2014 y 2026, considerando que en la última década se ha incrementado significativamente el uso de tecnologías digitales, laboratorios virtuales, realidad aumentada e inteligencia artificial en educación científica. Este rango temporal permitirá incluir estudios recientes sobre IA generativa y ChatGPT, sin excluir investigaciones previas relevantes sobre simulaciones, recursos digitales y laboratorios virtuales.

- Matriz de extracción de información

Para organizar la información de los estudios seleccionados, se elaborará una matriz de extracción de datos. Esta permitirá sistematizar los principales elementos bibliográficos, metodológicos y temáticos de cada documento.

Variable	Descripción
Autor(es) y año	Identificación del estudio
País o contexto	Lugar o contexto educativo del estudio, si está disponible
Tipo de estudio	Revisión, estudio empírico, estudio de caso, investigación experimental, cuasiexperimental o cualitativa
Nivel educativo	Secundaria, bachillerato, educación superior, formación docente u otro
Herramienta digital o IA	Simulación, laboratorio virtual, RA, RV, ChatGPT, chatbot, plataforma digital, visualización 3D
Tema químico abordado	Química general, orgánica, inorgánica, analítica, fisicoquímica, laboratorio, estequiometría, equilibrio, etc.
Objetivo del estudio	Propósito central de la investigación
Principales hallazgos	Resultados relevantes
Oportunidades identificadas	Beneficios pedagógicos reportados
Desafíos identificados	Limitaciones, riesgos o barreras
Implicaciones didácticas	Recomendaciones para la enseñanza
DOI o enlace	Identificador verificable

Fuente: Elaborado por los autores



Nota. Diagrama elaborado conforme a la estructura PRISMA 2020.

El diagrama de flujo PRISMA muestra el proceso de identificación, cribado, elegibilidad e inclusión de los estudios seleccionados para la revisión bibliográfica. En la fase de identificación se localizaron 86 registros en bases de datos académicas y 9 registros adicionales mediante búsqueda manual, obteniéndose

un total de 95 documentos. Posteriormente, se eliminaron 18 registros duplicados, quedando 77 estudios para la fase de cribado.

Durante el cribado, los 77 registros fueron examinados a partir del título, resumen y palabras clave. En esta etapa se excluyeron 42 documentos por no presentar pertinencia temática con la enseñanza de la química, las herramientas digitales o la inteligencia artificial. Como resultado, 35 estudios fueron considerados potencialmente relevantes y pasaron a la fase de elegibilidad.

En la fase de elegibilidad, se evaluaron los textos completos de los 35 estudios seleccionados. De estos, se excluyeron 20 documentos por razones específicas: 7 no estaban centrados en educación química, 5 no presentaban enfoque pedagógico, 4 no contaban con texto completo o información verificable y 4 tenían baja pertinencia temática. Finalmente, se incluyeron 15 estudios en la revisión bibliográfica, los cuales fueron analizados mediante una matriz de extracción de datos y organizados en categorías temáticas para responder al objetivo de la investigación.

4.RESULTADOS

La revisión bibliográfica permitió identificar las principales tendencias, oportunidades y desafíos relacionados con el uso de herramientas digitales e inteligencia artificial en la enseñanza de la química. A partir del procedimiento de selección basado en PRISMA 2020, se identificaron inicialmente 95 registros, de los cuales, luego de eliminar duplicados, realizar el cribado por título, resumen y palabras clave, y evaluar los textos completos, se incluyeron finalmente 15 estudios en el análisis.

Los estudios seleccionados fueron organizados en cinco categorías temáticas: simulaciones computacionales y visualización molecular, laboratorios virtuales, realidad aumentada y visualización 3D, plataformas y herramientas digitales, e inteligencia artificial generativa y chatbots. Esta clasificación permitió analizar de manera ordenada los aportes de la literatura en relación con las oportunidades pedagógicas y los desafíos de implementación.

4.1 Caracterización general de los estudios incluidos

Los estudios incluidos muestran un interés creciente por la incorporación de tecnologías digitales en la enseñanza de la química, especialmente a partir de la expansión de los entornos virtuales de aprendizaje, los laboratorios digitales y, más recientemente, la inteligencia artificial generativa. La literatura revisada evidencia que las investigaciones no se concentran únicamente en el uso instrumental de la tecnología, sino también en su impacto sobre la comprensión conceptual, la motivación, la autonomía, la retroalimentación y el desarrollo de habilidades científicas.

Categoría temática	Estudios representativos	Aporte principal
Simulaciones y visualización molecular	Plass et al. (2012); Wu et al. (2021)	Favorecen la comprensión de fenómenos abstractos y relaciones entre variables químicas.
Laboratorios virtuales	Chan et al. (2021)	Permiten experimentar en entornos seguros, flexibles y de bajo costo.
Realidad aumentada y visualización 3D	Abdinejad et al. (2021); Mazzuco et al. (2022)	Apoyan la comprensión espacial de estructuras moleculares y conceptos complejos.
Herramientas digitales en educación química	Wohlfart et al. (2023); Wu et al. (2021)	Destacan la necesidad de integración pedagógica y formación docente.
IA generativa y chatbots	Guo y Lee (2023); Hallal et al. (2023); Yuriev et al. (2024); Erümit y Sarıalioglu (2025)	Presentan oportunidades para retroalimentación, explicación conceptual y pensamiento crítico, pero también desafíos éticos y de confiabilidad.

Los resultados muestran que las tecnologías digitales y la IA pueden enriquecer la enseñanza de la química cuando son incorporadas mediante una planificación didáctica adecuada. Sin embargo, también se observa que su efectividad depende de factores como la formación docente, el acceso tecnológico, la calidad del diseño instruccional y la capacidad de los estudiantes para evaluar críticamente la información.

4.2 Simulaciones computacionales y visualización molecular

Una de las tendencias más consolidadas en la literatura corresponde al uso de simulaciones computacionales para representar fenómenos químicos abstractos. Estas herramientas permiten a los estudiantes manipular variables, observar cambios en tiempo real y relacionar representaciones macroscópicas, submicroscópicas y simbólicas.

Los estudios revisados indican que las simulaciones favorecen la comprensión de contenidos como estructura atómica, enlaces químicos, soluciones, equilibrio químico, cinética, gases y termodinámica. Plass et al. (2012) señalan que las simulaciones pueden mejorar el aprendizaje cuando permiten la exploración guiada de fenómenos y cuando están acompañadas de actividades diseñadas pedagógicamente. De manera similar, Wu et al. (2021) identifican que el aprendizaje de química mediado por tecnología ha evolucionado hacia propuestas más interactivas, orientadas al desarrollo de habilidades y a la comprensión conceptual.

Los resultados sugieren que las simulaciones son especialmente útiles porque permiten repetir procedimientos, modificar condiciones experimentales y visualizar procesos invisibles. No obstante, también se identificó que su uso aislado puede generar aprendizajes superficiales si no existe acompañamiento docente. Por ello, los estudios coinciden en que las simulaciones deben integrarse con preguntas orientadoras, actividades de análisis, discusión de resultados y evaluación conceptual.

4.3 Laboratorios virtuales como apoyo a la experimentación química

Los laboratorios virtuales constituyen otra categoría relevante dentro de los estudios analizados. Estos entornos permiten simular prácticas de laboratorio, manipular sustancias virtuales, observar reacciones y desarrollar procedimientos experimentales sin los riesgos, costos o limitaciones del laboratorio físico.

Chan et al. (2021) destacan que los laboratorios virtuales han sido estudiados desde diferentes enfoques, incluyendo tecnologías utilizadas, diseño instruccional y teorías de aprendizaje. Los resultados de la literatura muestran que estos recursos pueden ser útiles como preparación previa para el laboratorio presencial, como complemento de las prácticas reales o como alternativa en contextos donde no existe infraestructura suficiente.

Entre las principales oportunidades identificadas se encuentran la posibilidad de repetir experimentos, reducir riesgos, disminuir costos, mejorar la preparación del estudiante y facilitar el aprendizaje autónomo. Además, los laboratorios virtuales permiten que los estudiantes cometan errores sin consecuencias peligrosas, lo que puede favorecer el aprendizaje por ensayo, corrección y reflexión.

Sin embargo, también se identifican limitaciones importantes. Los laboratorios virtuales no sustituyen completamente la experiencia sensorial, manual y procedimental del laboratorio físico. La manipulación de instrumentos, la medición directa, el control de materiales y la observación de fenómenos reales siguen siendo componentes esenciales de la formación química. Por tanto, los resultados sugieren que el mayor potencial se encuentra en modelos híbridos que combinen laboratorio virtual y laboratorio presencial.

4.4 Realidad aumentada, realidad virtual y visualización 3D

Los estudios sobre realidad aumentada, realidad virtual y visualización tridimensional muestran que estas herramientas tienen un valor especial en la enseñanza de contenidos que requieren razonamiento espacial. En química, muchos conceptos dependen de la comprensión de estructuras moleculares, orientación espacial, geometría, isomería, enlaces y mecanismos de reacción.

Abdinejad et al. (2021) señalan que la realidad aumentada y la visualización 3D pueden mejorar la percepción de los estudiantes frente al aprendizaje de la química, especialmente en temas que exigen visualizar estructuras moleculares complejas. Mazzuco et al. (2022), por su parte, identifican en su revisión sistemática que la realidad aumentada ha sido utilizada para fortalecer la comprensión conceptual, la motivación y la interacción con modelos químicos.

Los resultados indican que estas tecnologías permiten superar una de las principales dificultades de la enseñanza tradicional: representar en dos dimensiones fenómenos que ocurren en tres dimensiones. Al

permitir rotar, ampliar, observar y manipular modelos moleculares, los estudiantes pueden construir representaciones mentales más precisas.

No obstante, los estudios también advierten desafíos. La implementación de realidad aumentada o virtual requiere dispositivos adecuados, conectividad, software especializado y formación docente. Además, existe el riesgo de que el estudiante se concentre más en la novedad tecnológica que en el contenido químico. Por esta razón, los recursos inmersivos deben estar vinculados a objetivos curriculares claros y a actividades de reflexión conceptual.

4.5 Herramientas digitales y plataformas de aprendizaje

Los estudios revisados también destacan el papel de las plataformas digitales, recursos multimedia y entornos virtuales de aprendizaje. Estas herramientas permiten organizar contenidos, actividades, evaluaciones, videos, simulaciones, cuestionarios, guías de laboratorio y espacios de interacción entre docentes y estudiantes.

Wohlfart et al. (2023) plantean una discusión relevante al preguntarse si las herramientas digitales en la educación química representan un valor agregado o simplemente una novedad tecnológica. Sus resultados sugieren que el impacto positivo de estas herramientas depende menos de la tecnología en sí misma y más de la forma en que se integran pedagógicamente.

En este sentido, los resultados de la revisión evidencian que las plataformas digitales pueden favorecer la flexibilidad, el aprendizaje autónomo y la retroalimentación, pero requieren planificación docente. Cuando se utilizan únicamente como repositorios de documentos, su aporte pedagógico es limitado. En cambio, cuando se integran con actividades interactivas, evaluación formativa y espacios de discusión, pueden fortalecer el aprendizaje.

Asimismo, la literatura muestra que las herramientas digitales pueden facilitar modalidades híbridas, aula invertida y aprendizaje colaborativo. Estas estrategias permiten reorganizar el tiempo de clase y destinar los encuentros presenciales a la resolución de problemas, experimentación, discusión y aplicación de conceptos químicos.

4.6 Inteligencia artificial generativa y chatbots en educación química

Una de las tendencias más recientes identificadas en la revisión corresponde al uso de inteligencia artificial generativa y chatbots, especialmente ChatGPT, en la enseñanza de la química. Los estudios seleccionados muestran que estas herramientas pueden apoyar la explicación de conceptos, la resolución de problemas, la elaboración de ejemplos, la escritura académica, la retroalimentación y la generación de actividades.

Guo y Lee (2023) destacan el potencial de ChatGPT para promover habilidades de pensamiento crítico cuando los estudiantes no se limitan a aceptar sus respuestas, sino que las analizan, corrigen y contrastan con fuentes confiables. Hallal et al. (2023) evaluaron el desempeño de chatbots de IA en química orgánica, mostrando que estas herramientas pueden responder preguntas y ofrecer explicaciones, aunque con limitaciones en precisión y profundidad. Yuriev et al. (2024) señalan que la IA generativa representa una nueva etapa para la educación química, pero requiere criterios claros de uso, supervisión docente y alfabetización digital.

Los resultados muestran que la IA generativa puede contribuir a la personalización del aprendizaje, ya que permite adaptar explicaciones al nivel del estudiante, generar ejercicios adicionales y ofrecer retroalimentación inmediata. También puede apoyar al docente en la creación de materiales, rúbricas, preguntas, casos contextualizados y actividades de evaluación.

Sin embargo, esta categoría también concentra algunos de los principales desafíos de la revisión. Los modelos de IA pueden generar respuestas incorrectas, incompletas o aparentemente convincentes. En química, estos errores pueden ser especialmente problemáticos, ya que una ecuación mal balanceada, una explicación incorrecta de una reacción o una estructura molecular equivocada pueden afectar la comprensión conceptual del estudiante.

Por ello, los estudios coinciden en que la IA no debe reemplazar al docente ni ser utilizada como fuente única de información. Su uso debe orientarse hacia la verificación, el pensamiento crítico, la comparación de respuestas, la discusión y la resolución argumentada de problemas.

4.7 Oportunidades pedagógicas identificadas

A partir del análisis de los estudios incluidos, se identificaron varias oportunidades pedagógicas asociadas al uso de herramientas digitales e inteligencia artificial en la enseñanza de la química.

Oportunidad	Descripción
Visualización de conceptos abstractos	Las herramientas digitales permiten representar estructuras, partículas, moléculas y procesos invisibles.
Aprendizaje activo	Las simulaciones y laboratorios virtuales favorecen la exploración, manipulación de variables y formulación de hipótesis.
Experimentación segura	Los entornos virtuales permiten practicar sin riesgos químicos, costos elevados o restricciones de materiales.
Personalización del aprendizaje	La IA puede adaptar explicaciones, generar ejercicios y ofrecer retroalimentación inmediata.
Motivación estudiantil	Los recursos interactivos e inmersivos pueden aumentar el interés por contenidos complejos.

Desarrollo de pensamiento crítico	La IA generativa puede utilizarse para contrastar, corregir y evaluar respuestas.
Apoyo a la labor docente	Las herramientas digitales facilitan la preparación de materiales, evaluaciones, guías y recursos de apoyo.

En términos generales, los resultados muestran que la mayor oportunidad de estas tecnologías se encuentra en su capacidad para transformar contenidos abstractos en experiencias más visuales, interactivas y contextualizadas. Esto es especialmente relevante en química, donde la comprensión depende de la articulación entre modelos, símbolos, fenómenos observables y explicaciones teóricas.

4.8 Desafíos y limitaciones identificadas

La revisión también permitió identificar desafíos importantes para la implementación efectiva de herramientas digitales e inteligencia artificial en la enseñanza de la química.

Desafío	Descripción
Brecha digital	No todas las instituciones cuentan con conectividad, dispositivos o software adecuado.
Formación docente insuficiente	El profesorado requiere competencias digitales, pedagógicas y disciplinares para integrar tecnología.
Riesgo de uso superficial	Las herramientas pueden convertirse en recursos decorativos si no responden a objetivos didácticos.
Precisión de la IA	Los modelos generativos pueden producir errores conceptuales o respuestas no verificadas.
Dependencia estudiantil	El uso inadecuado de IA puede reducir el razonamiento autónomo y la resolución propia de problemas.
Ética académica	Surgen desafíos relacionados con plagio, autoría, transparencia y uso responsable.
Sobrecarga cognitiva	Algunos recursos digitales pueden incluir demasiados estímulos visuales o información excesiva.

Los resultados evidencian que la integración tecnológica no debe centrarse únicamente en el acceso a herramientas. La calidad pedagógica depende de cómo se diseñan las actividades, cómo se acompaña al estudiante y cómo se evalúa el aprendizaje. En particular, la IA generativa exige una alfabetización crítica que permita reconocer sus posibilidades, limitaciones y riesgos.

5. DISCUSIÓN

Los resultados de la revisión evidencian que las herramientas digitales y la inteligencia artificial representan recursos con alto potencial para fortalecer la enseñanza de la química, especialmente porque

permiten abordar una de las principales dificultades de esta disciplina: la comprensión de fenómenos abstractos y no observables directamente. Las simulaciones, los laboratorios virtuales, la realidad aumentada y la visualización 3D facilitan la representación de procesos submicroscópicos, estructuras moleculares y relaciones entre variables químicas, lo cual coincide con lo planteado por Wu et al. (2021), quienes destacan el valor de las tecnologías digitales para enriquecer el aprendizaje conceptual en química.

Un hallazgo relevante es que las herramientas digitales no deben ser interpretadas como sustitutos del laboratorio físico o de la mediación docente, sino como recursos complementarios que amplían las posibilidades de enseñanza. En este sentido, los laboratorios virtuales permiten preparar al estudiante antes de la práctica presencial, reducir riesgos y favorecer la repetición de procedimientos; sin embargo, no reemplazan completamente el desarrollo de habilidades experimentales manuales, sensoriales y procedimentales propias del laboratorio real. Esta idea coincide con Chan et al. (2021), quienes sostienen que el valor de los laboratorios virtuales depende de su diseño instruccional y de su integración pedagógica.

Respecto a la inteligencia artificial, los estudios revisados muestran que herramientas como ChatGPT y otros chatbots pueden apoyar la explicación de conceptos, la generación de ejercicios, la retroalimentación y el desarrollo del pensamiento crítico. No obstante, su uso también plantea desafíos relacionados con la confiabilidad de las respuestas, los errores conceptuales, la dependencia estudiantil y la ética académica. Por ello, la IA debe incorporarse desde una perspectiva crítica, donde el estudiante aprenda a verificar, contrastar y evaluar la información generada. Esta postura se relaciona con Guo y Lee (2023), quienes proponen el uso de ChatGPT no solo como herramienta de respuesta, sino como recurso para promover análisis, revisión y pensamiento crítico.

Asimismo, los resultados sugieren que la efectividad de las tecnologías digitales en química no depende únicamente de la herramienta utilizada, sino de las condiciones pedagógicas, institucionales y formativas que acompañan su implementación. La disponibilidad de dispositivos, conectividad, software, capacitación docente y criterios de evaluación son factores decisivos para que estas tecnologías aporten valor real al aprendizaje. En esta línea, Wohlfart et al. (2023) advierten que las herramientas digitales pueden convertirse en simples elementos novedosos si no se integran con objetivos didácticos claros.

Finalmente, la revisión permite afirmar que las herramientas digitales y la inteligencia artificial ofrecen oportunidades significativas para transformar la enseñanza de la química, pero su incorporación exige planificación, formación docente, criterios éticos y evaluación crítica. La principal contribución de estas tecnologías no radica en reemplazar los métodos tradicionales, sino en enriquecerlos mediante experiencias más visuales, interactivas, personalizadas y reflexivas. Por tanto, el desafío central consiste en pasar del uso instrumental de la tecnología hacia una integración pedagógica consciente, orientada al aprendizaje significativo y al desarrollo de competencias científicas y digitales.

6. CONCLUSIONES

La revisión bibliográfica permitió evidenciar que las herramientas digitales y la inteligencia artificial constituyen recursos relevantes para fortalecer la enseñanza de la química, especialmente en contenidos que requieren altos niveles de abstracción, visualización molecular y comprensión de fenómenos submicroscópicos. Las simulaciones, laboratorios virtuales, recursos multimedia, realidad aumentada, visualización 3D y plataformas digitales ofrecen nuevas posibilidades para representar procesos químicos, promover la interacción del estudiante con los contenidos y diversificar las estrategias de enseñanza.

Los estudios analizados muestran que las herramientas digitales pueden favorecer el aprendizaje activo, la motivación, la autonomía, la experimentación segura y la comprensión conceptual. En particular, los laboratorios virtuales y las simulaciones permiten que los estudiantes manipulen variables, repitan procedimientos y observen fenómenos que, en algunos casos, resultan difíciles, costosos o riesgosos de reproducir en el laboratorio físico. Sin embargo, estos recursos no sustituyen completamente la experiencia experimental presencial, sino que funcionan mejor como complemento pedagógico.

Respecto a la inteligencia artificial generativa, los hallazgos indican que herramientas como ChatGPT y otros chatbots pueden apoyar la explicación de conceptos, la generación de ejercicios, la retroalimentación personalizada, la escritura académica y el desarrollo del pensamiento crítico. No obstante, su uso exige una actitud crítica, ya que la IA puede producir respuestas imprecisas, errores conceptuales o información no verificada. Por ello, su incorporación en la enseñanza de la química debe estar acompañada de orientación docente, verificación de fuentes y criterios éticos claros.

Asimismo, se concluye que el impacto positivo de estas tecnologías no depende únicamente de su disponibilidad, sino de su integración didáctica. La planificación docente, la selección adecuada de recursos, la alineación con los objetivos de aprendizaje, la evaluación formativa y la formación digital del profesorado son condiciones esenciales para que las herramientas digitales y la IA contribuyan efectivamente al aprendizaje químico.

Entre los principales desafíos identificados se encuentran la brecha digital, la falta de capacitación docente, la dependencia excesiva de la tecnología, los problemas de confiabilidad de la IA, la protección de datos, la ética académica y el riesgo de utilizar recursos digitales como elementos novedosos sin verdadero valor pedagógico. Estos desafíos muestran la necesidad de avanzar hacia una incorporación crítica, responsable y contextualizada de la tecnología en la educación química.

En síntesis, las herramientas digitales y la inteligencia artificial representan una oportunidad significativa para renovar la enseñanza de la química, pero su valor depende del modo en que son utilizadas. Más que reemplazar al docente o al laboratorio tradicional, estas tecnologías deben entenderse como

mediaciones que enriquecen el proceso educativo, fortalecen la comprensión de conceptos complejos y promueven competencias científicas y digitales. Por tanto, futuras investigaciones deberían profundizar en estudios empíricos, comparativos y longitudinales que evalúen el impacto real de estas herramientas en el aprendizaje, la evaluación, la formación docente y la equidad educativa.

FINANCIACIÓN

Los autores no recibieron financiación para el desarrollo de la presente investigación.

CONFLICTO DE INTERESES

Los Autores declaran que no existe conflicto de intereses con su investigación

CONTRIBUCIÓN DE AUTORÍA

En concordancia con la taxonomía establecida internacionalmente para la asignación de créditos a autores de artículos científicos. Los autores declaran sus contribuciones en la siguiente matriz:

Participar activamente en:	<i>Autor 1</i>	<i>Autor 2</i>
<i>Conceptualización</i>	X	X
<i>Análisis formal</i>	X	X
<i>Adquisición de fondos</i>	X	
<i>Investigación</i>	X	X
<i>Metodología</i>	X	X
<i>Administración del proyecto</i>		X
<i>Recursos</i>	X	X
<i>Redacción –borrador original</i>	X	X
<i>Redacción –revisión y edición</i>	X	X
<i>La discusión de los resultados</i>	X	X
<i>Revisión y aprobación de la versión final del trabajo.</i>	X	X

7. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Abdinejad, M., Talaie, B., Qorbani, H. S., & Dalili, S. (2021). Student perceptions using augmented reality and 3D visualization technologies in chemistry education. *Journal of Science Education and Technology*, 30, 87–96. <https://doi.org/10.1007/s10956-020-09880-2>
- Berber, S., Bruckner, M., Maurer, N., & Huwer, J. (2024). Artificial intelligence in chemistry research: Implications for teaching and learning chemistry. *Journal of Chemical Education*. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.4c01033>
- Chan, P., Van Gerven, T., Dubois, J.-L., & Bernaerts, K. (2021). Virtual chemical laboratories: A systematic literature review of research, technologies and instructional design. *Computers and Education Open*, 2, 100053. <https://doi.org/10.1016/j.caeo.2021.100053>

- Erümit, A. K., & Sarıalioğlu, R. Ö. (2025). Artificial intelligence in science and chemistry education: A systematic review. *Discover Education*, 4, 178. <https://doi.org/10.1007/s44217-025-00622-3>
- Feldman-Maggor, Y., Blonder, R., & Alexandron, G. (2024). Perspectives of generative AI in chemistry education within the TPACK framework. *Journal of Science Education and Technology*. <https://doi.org/10.1007/s10956-024-10147-3>
- Guo, Y., & Lee, D. (2023). Leveraging ChatGPT for enhancing critical thinking skills. *Journal of Chemical Education*, 100, 4876–4883. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.3c00505>
- Hallal, K., Hamdan, R., & Tlais, S. (2023). Exploring the potential of AI-chatbots in organic chemistry: An assessment of ChatGPT and Bard. *Computers and Education: Artificial Intelligence*, 5, 100170. <https://doi.org/10.1016/j.caeai.2023.100170>
- Humphry, T., & Fuller, A. L. (2023). Potential ChatGPT use in undergraduate chemistry laboratories. *Journal of Chemical Education*, 100(4), 1434–1436. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.3c00063>
- Mazzuco, A., Krassmann, A. L., Reategui, E., & Gomes, R. S. (2022). A systematic review of augmented reality in chemistry education. *Review of Education*, 10(1). <https://doi.org/10.1002/rev3.3325>
- Plass, J. L., Milne, C., Homer, B. D., Schwartz, R. N., Hayward, E. O., Jordan, T., Verkuilen, J., Ng, F., Wang, Y., & Barrientos, J. (2012). Investigating the effectiveness of computer simulations for chemistry learning. *Journal of Research in Science Teaching*, 49(3), 394–419. <https://doi.org/10.1002/tea.21008>
- Ruff, E. F., Engen, M. A., Franz, J. L., Mauser, J. F., West, J. K., & Zemke, J. M. O. (2024). ChatGPT writing assistance and evaluation assignments across the chemistry curriculum. *Journal of Chemical Education*. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.4c00248>
- Tassoti, S. (2024). Assessment of students use of generative artificial intelligence: Prompting strategies and prompt engineering in chemistry education. *Journal of Chemical Education*, 101, 2475–2482. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.4c00212>
- Wohlfart, O. W., Wagner, A. L., & Wagner, I. W. (2023). Digital tools in secondary chemistry education—Added value or modern gimmicks? *Frontiers in Education*, 8, 1197296. <https://doi.org/10.3389/feduc.2023.1197296>
- Wu, S.-H., Lai, C.-L., Hwang, G.-J., & Tsai, C.-C. (2021). Research trends in technology-enhanced chemistry learning: A review of comparative research from 2010 to 2019. *Journal of Science Education and Technology*, 30, 496–510. <https://doi.org/10.1007/s10956-020-09894-w>
- Yuriev, E., Wink, D. J., & Holme, T. A. (2024). The dawn of generative artificial intelligence in chemistry education. *Journal of Chemical Education*, 101(8), 2957–2959. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.4c00836>