

Integración de la inteligencia artificial en la enseñanza de procesos químicos

Integration of Artificial Intelligence in the Teaching of Chemical Processes

León Espinoza Carlos Javier ¹[0009-0004-4828-8055]

¹ Investigador independiente de Machala, El Oro, Ecuador

carlosjleone@gmail.com

CITA EN APA:

León Espinoza, C. J. (2025). Integración de la inteligencia artificial en la enseñanza de procesos químicos. Tesla Revista Científica, 5(2). <https://doi.org/10.55204/trc.v5i2.e530>

Recibido: 2025-06-15

Aceptado: 2025-08-24

Publicado: 2025-09-16

TESLA

Revista Científica

ISSN: 2796-9320



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. La integración de la inteligencia artificial (IA) en la enseñanza de los procesos químicos se ha consolidado como una de las transformaciones más relevantes en el ámbito educativo contemporáneo. Esta revisión bibliográfica analiza las principales tendencias, desafíos, oportunidades y aplicaciones prácticas que la IA ofrece en la didáctica de la química. Entre los hallazgos más significativos se destacan el uso de simuladores virtuales, laboratorios inmersivos, chatbots y sistemas de analítica de aprendizaje, los cuales favorecen la personalización, la retroalimentación inmediata y la comprensión de fenómenos complejos. No obstante, la investigación también identifica limitaciones vinculadas a la brecha digital, la formación docente, la ética y la privacidad de los datos, lo que exige la creación de políticas institucionales y estrategias pedagógicas que garanticen un uso responsable de estas tecnologías. En conjunto, la evidencia revisada sugiere que la IA no sustituye al docente, sino que redefine su rol como mediador crítico y diseñador de experiencias educativas innovadoras. Finalmente, se plantea que las futuras líneas de investigación deben centrarse en la evaluación del impacto real de la IA en el aprendizaje a largo plazo y en la consolidación de marcos pedagógicos críticos y sostenibles.

Palabras Clave: Inteligencia artificial, enseñanza de la química, procesos químicos.

Abstract: The integration of Artificial Intelligence (AI) in the teaching of chemical processes has emerged as one of the most relevant transformations in contemporary education. This literature review analyzes the main trends, challenges, opportunities, and practical applications of AI in chemistry education. The findings highlight the use of virtual simulators, immersive laboratories, chatbots, and learning analytics systems, which enhance personalization, provide immediate feedback, and improve the understanding of complex chemical phenomena. However, this study also identifies limitations associated with the digital divide, teacher training, ethics, and data privacy, which require institutional policies and pedagogical strategies to ensure responsible and equitable use of AI technologies. Overall, the evidence suggests that AI does not replace teachers but rather redefines their role as critical mediators and designers of innovative educational experiences. Finally, future research should focus on assessing the long-term impact of AI on learning outcomes and on consolidating critical and sustainable pedagogical frameworks.

Keywords: artificial intelligence, chemistry education, chemical processes.

1 INTRODUCCIÓN

En los últimos años, la inteligencia artificial (IA) ha emergido como una de las tecnologías más influyentes en la transformación de la educación científica. Su incorporación en la enseñanza de los procesos químicos no solo ofrece herramientas avanzadas para la simulación, predicción y análisis de reacciones, sino que también promueve un aprendizaje más interactivo, personalizado y eficaz. Gracias a los algoritmos de aprendizaje automático, es posible modelar sistemas complejos, anticipar resultados experimentales y optimizar condiciones de reacción, lo que anteriormente requería amplios recursos y tiempo en laboratorio (Peña et al., 2022).

En el ámbito educativo, la IA aporta beneficios clave como la personalización del aprendizaje de acuerdo con el nivel cognitivo de cada estudiante, la generación de entornos virtuales de experimentación y la retroalimentación inmediata. Además, favorece el desarrollo de habilidades críticas y analíticas, al permitir que los estudiantes comprendan fenómenos químicos desde un enfoque más dinámico y contextualizado. Esto contribuye a superar las limitaciones de los métodos tradicionales, donde los procesos químicos se enseñaban de manera teórica o con acceso restringido a prácticas experimentales (Sayán-Rivera, 2025).

Asimismo, diversos estudios han demostrado que la integración de la IA en las ciencias experimentales no solo optimiza el aprendizaje conceptual, sino que también fomenta la motivación y el interés de los estudiantes por la investigación. Herramientas basadas en IA, como simuladores inteligentes y tutores virtuales, ofrecen entornos seguros y accesibles para practicar sin los riesgos asociados a un laboratorio real (Cabero-Almenara & Llorente-Cejudo, 2020). De igual manera, la capacidad de la IA para procesar grandes volúmenes de datos contribuye a la generación de modelos predictivos que facilitan la comprensión de fenómenos químicos de alta complejidad (Chaudhary et al., 2021).

La relevancia de estas aplicaciones se extiende también al ámbito de la inclusión educativa. Sistemas de apoyo inteligentes permiten adaptar materiales y experiencias a estudiantes con diferentes estilos de aprendizaje, potenciando así la equidad en el acceso al conocimiento científico (García-Peñalvo, 2021).

En este sentido, la enseñanza de los procesos químicos mediada por IA se posiciona como una estrategia innovadora que no solo fortalece las competencias disciplinares, sino que también impulsa el desarrollo de habilidades transversales como la resolución de problemas, el pensamiento crítico y la creatividad, todas esenciales en la formación de futuros profesionales de la ciencia y la tecnología (Holmes et al., 2019).

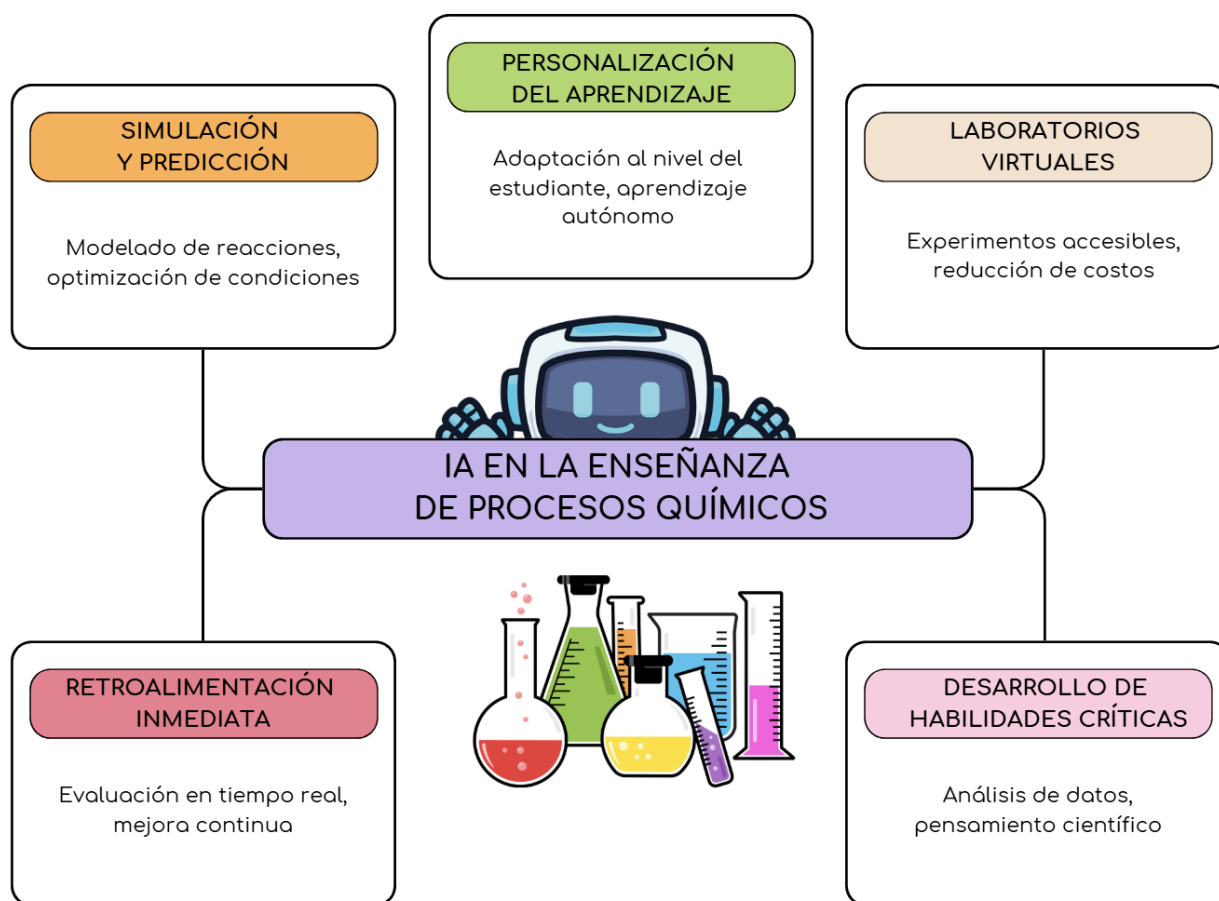


Figura 1. La IA aplicada a procesos de enseñanza de procesos químicos

La integración de la IA en la enseñanza de la química, particularmente en el estudio de los procesos químicos, abre un horizonte innovador en la educación científica. Representa no solo una estrategia pedagógica, sino también una oportunidad para democratizar el conocimiento, acercando a los estudiantes a las metodologías de investigación de vanguardia y preparando a futuros profesionales capaces de desenvolverse en un entorno altamente tecnológico y competitivo (Feldman, A., & Blonder, R., 2023).

En las últimas décadas, la educación superior ha experimentado profundas transformaciones impulsadas por el avance tecnológico, las demandas de la sociedad del conocimiento y la necesidad de replantear los procesos de enseñanza-aprendizaje. En este contexto, la gamificación ha emergido como una estrategia pedagógica innovadora que busca integrar elementos propios del diseño de juegos en contextos educativos con el objetivo de aumentar la motivación, la participación y el compromiso del estudiantado.

1.1. Contextualización y relevancia en la educación científica

La enseñanza de los procesos químicos ha enfrentado históricamente limitaciones derivadas del acceso restringido a laboratorios, los altos costos de los equipos y reactivos, y las dificultades para reproducir en el aula fenómenos de gran complejidad. Estos obstáculos han generado brechas entre la teoría y la práctica, dificultando que los estudiantes alcancen una comprensión integral de la química.

En este escenario, la inteligencia artificial se presenta como una herramienta capaz de cerrar dichas brechas. Su aplicación en entornos educativos permite recrear situaciones experimentales de manera virtual, identificar patrones en grandes volúmenes de datos químicos y diseñar estrategias pedagógicas adaptadas a las necesidades individuales. Esta capacidad de integración tecnológica no solo mejora el proceso de enseñanza-aprendizaje, sino que también potencia el desarrollo de competencias científicas alineadas con las demandas de la era digital (Peña et al., 2022).

De esta forma, la incorporación de la IA en la educación química adquiere un carácter estratégico: posibilita una formación más inclusiva, innovadora y ajustada a las exigencias del mundo académico y profesional actual. Asimismo, impulsa el tránsito hacia un modelo educativo que combina la rigurosidad científica con la flexibilidad de las tecnologías emergentes, garantizando que los futuros profesionales de la química estén preparados para enfrentar escenarios complejos en investigación e industria.

1.2. Avances tecnológicos y su impacto en la enseñanza de la química

El vertiginoso desarrollo de las tecnologías digitales en la última década ha transformado las metodologías educativas, introduciendo herramientas capaces de optimizar el aprendizaje en distintas disciplinas. En el campo de la química, la inteligencia artificial se ha convertido en un eje fundamental para dinamizar la enseñanza de los procesos químicos, al ofrecer entornos interactivos que antes eran impensables (Sayán-Rivera, 2025).

Mediante algoritmos de aprendizaje automático, la IA permite simular reacciones, predecir comportamientos moleculares y realizar análisis comparativos de condiciones experimentales con un grado de precisión superior al de los métodos tradicionales. Esto no solo contribuye a mejorar la comprensión conceptual, sino que además fomenta la capacidad de los estudiantes para formular hipótesis, interpretar resultados y aplicar los conocimientos en contextos prácticos.

Asimismo, los sistemas de IA integrados en plataformas educativas han demostrado ser eficaces en la personalización del aprendizaje. Gracias al análisis de datos de desempeño, es posible generar recomendaciones adaptadas al ritmo, estilo y nivel de comprensión de cada estudiante, promoviendo un proceso formativo más inclusivo y equitativo. Estas aplicaciones representan un punto de inflexión en la enseñanza de la química, al consolidar un puente entre la teoría y la práctica en un entorno digital accesible y sostenible.

2 MATERIAL Y METODO

Este artículo se enmarca en una revisión bibliográfica narrativa estructurada, orientada a sistematizar el conocimiento actual sobre la gamificación como estrategia pedagógica en educación superior. Este enfoque metodológico es adecuado para temas emergentes, en los que la evidencia científica es diversa, fragmentada o presenta una amplia gama de enfoques y resultados (Ferrari, 2015).

A diferencia de las revisiones sistemáticas, que siguen protocolos estandarizados y criterios estadísticos rigurosos, la revisión narrativa permite analizar críticamente investigaciones de distinto tipo (cuantitativas, cualitativas, mixtas, teóricas o de caso), integrando no solo los hallazgos empíricos, sino también los enfoques conceptuales, fundamentos teóricos y proyecciones pedagógicas. Esta metodología resulta útil para comprender de forma holística un fenómeno complejo como la gamificación, cuya aplicación en el ámbito educativo presenta múltiples dimensiones.

Se emplearon criterios claros de inclusión y exclusión para seleccionar los estudios, y se diseñó un proceso de análisis basado en la identificación de patrones, divergencias y vacíos teóricos. La información fue organizada en matrices de síntesis que permitieron categorizar los elementos gamificados más utilizados, las variables analizadas y los principales efectos reportados

Tabla 1. Descripción de la Metodología de investigación.

Fase	Descripción del procedimiento aplicado
1. Definición del objeto de estudio	Se delimitó como eje central la gamificación en contextos de educación superior, con énfasis en sus componentes, aplicaciones y efectos.
2. Búsqueda bibliográfica	Se consultaron bases de datos académicas como Scopus, Google Scholar, Redalyc, Scielo y ERIC. Se usaron términos clave como: <i>gamificación, aprendizaje basado en juego, educación superior, motivación educativa y tecnologías educativas</i> .
3. Criterios de inclusión/exclusión	Se incluyeron artículos académicos entre 2010 y 2025, en español e inglés, que abordaran la gamificación desde un enfoque educativo. Se excluyeron trabajos sin revisión por pares, duplicados o sin relación directa con el tema.
4. Organización y codificación de datos	Los artículos seleccionados fueron analizados temáticamente, identificando elementos gamificados utilizados, tipo de estudio, variables evaluadas y principales hallazgos.
5. Síntesis crítica y redacción	Se elaboraron matrices y tablas de síntesis, identificando puntos de convergencia, contradicción y vacíos para orientar las conclusiones y proyecciones futuras.

La Tabla 1 resume de manera estructurada las fases seguidas en el desarrollo de la revisión bibliográfica. Cada una de estas etapas permitió garantizar el rigor y la validez del proceso investigativo, asegurando que la información recopilada respondiera a criterios de calidad científica. La delimitación del objeto de estudio resultó esencial para centrar el análisis en la gamificación aplicada a la educación superior, lo que evitó dispersión temática y permitió un abordaje focalizado.

La búsqueda bibliográfica, sustentada en bases de datos de alto impacto, favoreció la identificación de investigaciones recientes y relevantes, lo que aporta solidez a los resultados. Los criterios de inclusión y exclusión, por su parte, proporcionaron un marco objetivo para seleccionar únicamente aquellas

publicaciones que cumplen con estándares académicos y que contribuyen al entendimiento del fenómeno en estudio.

La organización y codificación de los datos constituyeron un paso fundamental para estructurar la información, identificar patrones recurrentes y reconocer tendencias emergentes en la aplicación de estrategias gamificadas. Finalmente, la síntesis crítica permitió no solo comparar hallazgos, sino también detectar vacíos de investigación que abren la posibilidad de futuras líneas de trabajo. En conjunto, este procedimiento asegura que las conclusiones derivadas se fundamenten en un análisis sistemático, coherente y con pertinencia académica.

Este proceso estructurado permitió una revisión profunda y crítica de los aportes actuales en torno a la gamificación en educación superior. La combinación de criterios de búsqueda bien definidos y el análisis temático abierto aseguró la validez del proceso de selección y la riqueza del análisis interpretativo. Además, al integrar estudios con distintas metodologías y procedencias, se logró una perspectiva comprehensiva y contextualizada que enriquece la discusión académica sobre el tema.

3 DESARROLLO

En los últimos años, la inteligencia artificial se ha incorporado progresivamente en la enseñanza de la química a través de laboratorios virtuales, chatbots, analítica de aprendizaje y simulaciones inmersivas. Estas herramientas no solo han transformado la forma de presentar los contenidos, sino que también han abierto nuevas posibilidades para que los estudiantes interactúen con fenómenos que tradicionalmente resultaban abstractos o difíciles de visualizar en el aula convencional. Por ejemplo, los laboratorios virtuales permiten recrear procesos químicos complejos en entornos controlados, reduciendo riesgos, costos y limitaciones de infraestructura. Del mismo modo, los chatbots y modelos de lenguaje apoyan la resolución de dudas en tiempo real, ofreciendo explicaciones inmediatas que, bajo la supervisión del docente, refuerzan la comprensión conceptual y promueven la autonomía en el aprendizaje (Peña Pernalet, 2025).

La analítica de aprendizaje se ha consolidado como una tendencia que aporta un valor significativo a la enseñanza, ya que facilita el monitoreo del progreso individual y colectivo, identificando patrones de error y áreas de mejora. Esto permite al profesorado diseñar estrategias pedagógicas más precisas y ajustadas a las necesidades de cada estudiante, lo que se traduce en una experiencia formativa más equitativa y personalizada. Por su parte, las simulaciones inmersivas basadas en realidad aumentada y virtual proporcionan escenarios de alta interactividad que favorecen la comprensión de conceptos complejos como la termodinámica, la cinética o los equilibrios químicos, integrando lo visual, lo experimental y lo teórico en una misma experiencia.

Por lo tanto, estas innovaciones no buscan sustituir el papel del docente, sino fortalecerlo, convirtiéndolo en un mediador crítico y diseñador de experiencias significativas, capaz de orientar el uso de la tecnología hacia un aprendizaje más reflexivo, autónomo y contextualizado. De este modo, la IA se

presenta como un recurso pedagógico que amplía las fronteras de la educación química, promoviendo un aprendizaje activo y la construcción de competencias transversales esenciales para el siglo XXI (Sayán-Rivera, 2025).

Tabla 2. Tendencias de la IA en la enseñanza de procesos químicos.

Tendencia	Ejemplos de aplicación	Justificación pedagógica
Laboratorios virtuales e inmersivos	Realidad virtual (VR) y aumentada (AR) para simular reacciones químicas	Favorecen la comprensión de fenómenos abstractos y reducen costos de infraestructura
Modelos de lenguaje (IA generativa)	ChatGPT, Gemini, Copilot en resolución de problemas químicos	Permiten definir conceptos y guiar procesos de razonamiento con mediación docente
Analítica de aprendizaje	Sistemas que monitorean desempeño y errores recurrentes	Posibilitan retroalimentación en tiempo real y diseño de intervenciones oportunas
Tutorías inteligentes	ITS y asistentes conversacionales	Acompañan al estudiante fuera del aula y refuerzan la autonomía del aprendizaje

En la Tabla 2 se presentan las principales tendencias en la aplicación de la inteligencia artificial en la enseñanza de los procesos químicos. Estas evidencian un cambio significativo en la forma de abordar la didáctica de la química, pasando de modelos tradicionales centrados en la transmisión de información hacia entornos más interactivos, personalizados y mediados por la tecnología.

Los laboratorios virtuales e inmersivos, basados en realidad aumentada y virtual, constituyen un recurso pedagógico innovador que favorece la comprensión de fenómenos abstractos, como la cinética o la termodinámica, al tiempo que reducen costos de infraestructura y riesgos propios de la experimentación física. De igual manera, el uso de modelos de lenguaje generativos, tales como ChatGPT, Gemini o Copilot, se consolida como una herramienta de apoyo que, bajo una mediación docente crítica, contribuye a guiar el razonamiento, resolver problemas y consolidar conceptos complejos de la química (Ayuso, S., 2022).

La analítica de aprendizaje se posiciona como otro eje de transformación, ya que posibilita un seguimiento constante del desempeño estudiantil, permitiendo detectar errores recurrentes y diseñar intervenciones pedagógicas oportunas. Finalmente, las tutorías inteligentes y asistentes conversacionales se perfilan como un recurso clave para extender el aprendizaje más allá del aula, reforzando la autonomía del estudiante y promoviendo la autorregulación.

En conjunto, estas tendencias no sustituyen la figura del docente, sino que redefinen su papel hacia el de mediador crítico y diseñador de experiencias significativas, potenciando una enseñanza de la química más dinámica, inclusiva y ajustada a las necesidades de los estudiantes (Sayán-Rivera, 2025; Peña Pernalet, 2025).

3.1 Desafíos en la implementación de la inteligencia artificial

Aunque la IA ofrece beneficios evidentes, también enfrenta retos vinculados al acceso, la precisión conceptual y la preparación docente.

Tabla 3. Desafíos de la integración de IA en la enseñanza de procesos químicos

Desafío	Manifestación en la enseñanza	Implicaciones
Brecha digital	Falta de equipos, conectividad y acceso desigual a plataformas de IA	Aumenta la desigualdad educativa y limita la adopción masiva
Errores conceptuales en respuestas de IA	Modelos generativos producen explicaciones químicas imprecisas	Riesgo de desinformación si no existe supervisión docente crítica
Déficit en la formación docente	Profesores con escasa capacitación en herramientas digitales e IA	Uso limitado, inconsistente y poco ético de la tecnología
Ética y privacidad de datos	Recolección de datos sensibles en entornos virtuales	Requiere políticas claras y protección de la información estudiantil

En la Tabla 3 se analizó una síntesis de los principales desafíos que enfrenta la integración de la inteligencia artificial en la enseñanza de los procesos químicos. Los resultados evidencian que estos obstáculos no solo están vinculados con aspectos técnicos o de infraestructura, sino también con factores pedagógicos, éticos y sociales que condicionan la efectividad de la innovación educativa.

En primer lugar, la brecha digital se presenta como un limitante estructural, ya que la falta de equipos y conectividad en muchas instituciones educativas aumenta la desigualdad y dificulta la adopción masiva de herramientas de IA (Ramos, J., 2014). A ello se suma el problema de los errores conceptuales generados por los modelos de lenguaje, lo que implica riesgos de desinformación si no existe un acompañamiento docente crítico que contraste y valide la información.

Otro aspecto crucial es el déficit en la formación del profesorado, que se traduce en un uso limitado o inconsistente de las tecnologías, con el peligro de que su implementación no cumpla objetivos pedagógicos claros. Finalmente, las cuestiones éticas y de privacidad de los datos constituyen un reto urgente, pues la recolección de información sensible en entornos digitales requiere de normativas institucionales y protocolos de protección que garanticen un uso responsable de la IA en la educación (Peña Pernalet, 2025).

En conjunto, estos desafíos ponen de manifiesto que la incorporación de la inteligencia artificial en la enseñanza de la química no puede limitarse a la adquisición de tecnología, sino que exige un abordaje integral que combine inversión en infraestructura, capacitación docente, marcos éticos y estrategias pedagógicas innovadoras, con el fin de asegurar una implementación efectiva, equitativa y sostenible.

3.2 Oportunidades educativas de la inteligencia artificial en procesos químicos

La inteligencia artificial (IA) representa una de las innovaciones más prometedoras para transformar la enseñanza de la química, especialmente en lo que respecta a los procesos químicos. Más allá de su dimensión tecnológica, la IA ofrece un conjunto de oportunidades que pueden redefinir el aprendizaje en este campo, al proporcionar experiencias más inclusivas, dinámicas y ajustadas a las necesidades de los estudiantes. Su potencial no se limita únicamente a la automatización de tareas o a la generación de contenidos, sino que se orienta hacia la construcción de entornos de aprendizaje más interactivos, personalizados y accesibles, donde la tecnología actúa como un catalizador que enriquece la labor docente y potencia las competencias del estudiante.

Entre estas oportunidades destacan la personalización del aprendizaje, que permite adaptar los contenidos, el ritmo y la dificultad a las características individuales de cada estudiante mediante algoritmos adaptativos, favoreciendo la motivación intrínseca y la retención del conocimiento. También sobresale el fortalecimiento del pensamiento crítico y metacognitivo, ya que la necesidad de contrastar la información generada por la IA con teorías científicas fomenta la reflexión, el análisis riguroso y la argumentación disciplinar.

Del mismo modo, la IA promueve la democratización del acceso a laboratorios virtuales, lo que constituye un recurso valioso en contextos educativos con limitaciones de infraestructura, permitiendo que estudiantes de diversas regiones puedan experimentar con simulaciones de reacciones químicas, cinéticas o procesos de equilibrio sin depender de recursos físicos costosos. Finalmente, el fomento del aprendizaje autónomo y colaborativo se potencia a través de tutores inteligentes y asistentes conversacionales, que no solo brindan apoyo en tiempo real, sino que también estimulan la autoformación y la creación de comunidades de aprendizaje entre pares.

En conjunto, estas oportunidades revelan que la IA no debe entenderse únicamente como un avance tecnológico, sino como una herramienta estratégica para transformar la educación química en un proceso más inclusivo, participativo y orientado al desarrollo de competencias transversales, necesarias para enfrentar los retos científicos, sociales y éticos del siglo XXI.

Tabla 4. Oportunidades educativas de la IA en procesos químicos

Oportunidad	Aplicación concreta	Beneficio educativo
Personalización del aprendizaje	Algoritmos adaptativos que ajustan contenido y ritmo	Mejora la motivación y facilita la retención del conocimiento
Desarrollo del pensamiento crítico	Comparación de respuestas de IA con teorías científicas	Estimula la reflexión, la metacognición y la argumentación disciplinar
Democratización del acceso a laboratorios	Laboratorios virtuales accesibles desde distintas geografías	Reduce desigualdades y permite prácticas experimentales a gran escala
Aprendizaje autónomo y colaborativo	Asistentes conversacionales y simuladores en línea	Favorecen la autoformación y la interacción entre pares

La Tabla 4 analiza cada una de estas oportunidades que refleja el potencial de la IA para enriquecer la enseñanza de procesos químicos de manera integral. En primer lugar, la personalización del aprendizaje permite que los algoritmos ajusten el contenido a las capacidades y ritmos de cada estudiante, evitando que unos se rezaguen o que otros se aburran por falta de desafío. Esta adaptabilidad promueve un aprendizaje más motivador y efectivo, lo que repercute en una mayor retención de conceptos fundamentales como la cinética o la termodinámica (Peña Pernalet, 2025).

En segundo lugar, la promoción del pensamiento crítico se vuelve esencial, ya que las respuestas de los sistemas de IA no siempre son precisas y requieren ser contrastadas con teorías científicas. Este ejercicio de validación fomenta la reflexión, la metacognición y la capacidad de argumentar, competencias necesarias en la formación de un profesional de la química con criterio científico.

Una tercera oportunidad es la democratización del acceso a laboratorios y simulaciones. Los entornos virtuales basados en IA permiten a estudiantes de diferentes regiones y contextos socioeconómicos acceder a prácticas experimentales avanzadas sin necesidad de infraestructura física costosa. De este modo, se reducen desigualdades y se garantiza que la enseñanza de procesos químicos no dependa únicamente de la disponibilidad de recursos materiales (Leite, B., 2023).

En conjunto, estas oportunidades revelan que la IA no solo mejora la enseñanza de los procesos químicos en términos de contenido, sino que también fortalece competencias transversales como el pensamiento crítico, la autonomía y la alfabetización digital. De esta manera, su integración adecuada en la educación química puede contribuir a formar profesionales capaces de enfrentar los retos científicos, tecnológicos y éticos del siglo XXI (Ramos, J., 2014).

Finalmente, el aprendizaje autónomo y colaborativo se potencia mediante asistentes conversacionales y plataformas de simulación en línea, que acompañan al estudiante en su proceso de autoformación y promueven la interacción entre pares. Esto contribuye a consolidar comunidades de aprendizaje más dinámicas, donde la construcción de conocimiento es compartida y enriquecida por la diversidad de perspectivas.

3.3. Simuladores virtuales y chatbots en la aplicación de ciencias químicas

La incorporación de simuladores virtuales y chatbots constituye una de las innovaciones más relevantes en la enseñanza de las ciencias químicas. Los simuladores virtuales permiten recrear entornos de laboratorio en los que los estudiantes pueden manipular variables, observar reacciones y analizar resultados sin necesidad de recurrir a materiales costosos o instalaciones físicas. Este tipo de herramienta contribuye a superar las limitaciones de infraestructura presentes en muchas instituciones educativas, además de favorecer la visualización de procesos complejos, como la cinética de reacciones, la termodinámica o los equilibrios químicos. Según Amirbekova, Shertayeva y Mironova (2023), el uso de realidad virtual y aumentada aplicada a la enseñanza de la química mejora significativamente la comprensión de conceptos abstractos y eleva la motivación del alumnado.

Por su parte, los chatbots se consolidan como asistentes conversacionales que brindan retroalimentación inmediata, responden preguntas frecuentes y guían a los estudiantes en la resolución de problemas. En el contexto de la química, estas herramientas pueden explicar procedimientos de laboratorio, resolver dudas conceptuales y sugerir estrategias para abordar cálculos o representaciones moleculares. Feldman y Blonder (2023) destacan que, aunque los modelos generativos presentan limitaciones en cuanto a precisión conceptual, su integración en el aula, bajo la mediación crítica del docente, permite reforzar la autonomía, estimular el pensamiento crítico y ampliar las oportunidades de aprendizaje.

La combinación de simuladores y chatbots no solo incrementa la interactividad y la accesibilidad en la enseñanza de la química, sino que también promueve un aprendizaje más autónomo y flexible. Además, se alinea con tendencias globales que apuntan a la creación de entornos híbridos de aprendizaje, donde lo experimental y lo virtual se complementan para ofrecer experiencias educativas más completas y personalizadas (Riera, C., & Madelin, A., 2022).

En síntesis, el uso de simuladores virtuales y chatbots en la enseñanza de las ciencias químicas representa una estrategia innovadora que facilita la comprensión conceptual, democratiza el acceso a prácticas experimentales y potencia la motivación estudiantil, siempre que se implemente de manera crítica y contextualizada.

3.4. Analítica de aprendizaje y retroalimentación inteligente en ciencias químicas

La analítica de aprendizaje, apoyada en inteligencia artificial, se ha convertido en un recurso fundamental para comprender el progreso y las necesidades del estudiantado en la enseñanza de las ciencias químicas. A través del análisis de grandes volúmenes de datos generados en plataformas virtuales, es posible identificar patrones de error, niveles de desempeño y áreas críticas que requieren refuerzo pedagógico. Este enfoque permite diseñar estrategias de intervención más personalizadas, ajustando los contenidos y las metodologías a las características específicas de cada grupo o individuo (Feldman, A. & Blonder, R., 2023).

Una de las aplicaciones más destacadas de la analítica de aprendizaje es la generación de retroalimentación inteligente en tiempo real, que ofrece al estudiante información inmediata sobre su desempeño. Por ejemplo, al resolver ejercicios de balance de ecuaciones químicas o problemas de cinética, los sistemas inteligentes pueden señalar errores, proponer pistas de solución o sugerir recursos adicionales para fortalecer la comprensión. Según Peña Pernaletе (2025), esta retroalimentación automatizada favorece la autorregulación, incrementa la motivación y mejora la retención del conocimiento.

Tabla 5 Aplicaciones de la inteligencia artificial en la enseñanza de procesos químicos y sus beneficios pedagógicos

Aplicación específica	Ejemplo en procesos químicos	Beneficio pedagógico
Monitoreo del desempeño estudiantil	Seguimiento de errores en ejercicios de balance de ecuaciones químicas	Permite identificar patrones de error y diseñar estrategias de refuerzo personalizadas
Retroalimentación en tiempo real	Corrección automática en problemas de cinética química	Favorece la autorregulación y mejora la comprensión de conceptos abstractos
Detección de dificultades recurrentes	Análisis de respuestas en cálculos de constantes de equilibrio	Ayuda al docente a focalizar la enseñanza en los temas con mayor complejidad
Predicción del rendimiento académico	Evaluación predictiva en temas de termodinámica y energía libre de Gibbs	Permite anticipar dificultades y diseñar intervenciones tempranas
Evaluación curricular y metodológica	Comparación del desempeño entre grupos que usan IA y grupos tradicionales	Apoya la toma de decisiones institucionales y la innovación pedagógica

En la Tabla 5 se evidencia cómo la analítica de aprendizaje aplicada a las ciencias químicas permite no solo recopilar información sobre el desempeño estudiantil, sino también transformarla en acciones pedagógicas concretas que enriquecen el proceso de enseñanza-aprendizaje. Cada una de las aplicaciones

señaladas refleja la capacidad de la inteligencia artificial para identificar patrones de error, ofrecer retroalimentación en tiempo real y anticipar dificultades que, en un modelo tradicional, pasarían desapercibidas.

Este tipo de herramientas fortalece el papel del docente como mediador, ya que le proporciona datos objetivos para ajustar su práctica y orientar intervenciones más precisas. Asimismo, la analítica de aprendizaje contribuye a reducir desigualdades al ofrecer diagnósticos personalizados, permitiendo que estudiantes con diferentes niveles de conocimiento reciban apoyos diferenciados (Ayuso, S., 2022).

En conjunto, estas aplicaciones no solo incrementan la eficacia de la enseñanza de los procesos químicos, sino que también promueven un aprendizaje más autónomo, crítico y participativo, donde la retroalimentación se convierte en un recurso central para la mejora continua (Peña Pernalet, 2025; Sayán-Rivera, 2025).

Además, la analítica de aprendizaje tiene un fuerte potencial para la toma de decisiones institucionales, ya que brinda información útil para la planificación curricular, la evaluación del impacto de nuevas metodologías y la identificación de factores que influyen en el rendimiento académico. Feldman y Blonder (2023) resaltan que la integración de IA en estos procesos no sustituye el criterio docente, sino que amplía su capacidad para interpretar datos y diseñar experiencias de enseñanza más efectivas.

En este sentido, la analítica de aprendizaje se configura como una herramienta estratégica que articula la dimensión tecnológica, pedagógica y ética de la enseñanza de la química. Su implementación crítica no solo mejora la calidad de la retroalimentación, sino que también fortalece el papel del docente como mediador del conocimiento, capaz de guiar a los estudiantes en la construcción de aprendizajes más significativos y duraderos.

4 APLICACIONES PRÁCTICAS O FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

La integración de la inteligencia artificial (IA) en la enseñanza de la química, y particularmente en el abordaje de los procesos químicos, abre un abanico de aplicaciones prácticas que pueden transformar tanto la docencia como la investigación educativa. Estas aplicaciones no solo responden a necesidades actuales, sino que también plantean desafíos y oportunidades que constituyen futuras líneas de investigación.

En primer lugar, una aplicación práctica se centra en el diseño de laboratorios virtuales inteligentes, potenciados con IA, que simulen reacciones químicas complejas, cinéticas y mecanismos de equilibrio. Estos entornos permiten experimentar con variables que serían difíciles de controlar en un laboratorio físico, lo cual resulta particularmente útil en instituciones con recursos limitados (Peña Pernalet, 2025).

Otra línea de aplicación es el uso de sistemas de tutoría inteligente (ITS) para acompañar al estudiante en la resolución de problemas de procesos químicos, tales como cálculos de energía libre de

Gibbs, predicción de velocidades de reacción o análisis de constantes de equilibrio. Estos sistemas, apoyados en algoritmos de aprendizaje automático, ofrecen retroalimentación personalizada, lo que refuerza la comprensión conceptual y el aprendizaje autónomo (Ayuso, S., 2022).

Asimismo, la analítica de aprendizaje representa un campo en expansión. A través del procesamiento de grandes volúmenes de datos sobre el desempeño estudiantil, es posible identificar patrones de error, predecir dificultades y ajustar las estrategias didácticas. En este sentido, investigaciones futuras pueden explorar cómo la minería de datos educativos aplicada a la enseñanza de procesos químicos contribuye a mejorar la toma de decisiones pedagógicas (Sayán-Rivera, 2025).

Desde un enfoque más experimental, una línea de investigación emergente consiste en el modelado predictivo de reacciones químicas mediante IA, donde los estudiantes no solo aprenden contenidos teóricos, sino que desarrollan competencias en ciencia de datos y programación aplicada a la química. Esta convergencia interdisciplinar entre química computacional y pedagogía constituye un terreno fértil para investigaciones orientadas a la innovación didáctica.

Finalmente, se requieren estudios que aborden los aspectos éticos y pedagógicos de la integración de IA, especialmente en relación con la fiabilidad de la información generada, la privacidad de los datos estudiantiles y el papel del docente como mediador. Futuras investigaciones deberían explorar marcos pedagógicos críticos que permitan equilibrar el uso de la IA con la enseñanza experimental tradicional, garantizando una formación integral y humanista en la química (Peña Pernalet, 2025).

En síntesis, las aplicaciones prácticas y las futuras líneas de investigación en este campo apuntan a la consolidación de una enseñanza de los procesos químicos más personalizada, inclusiva e innovadora, donde la IA actúe como un complemento que enriquezca —y no sustituya— la experiencia educativa.

5 CONCLUSIONES

La revisión realizada permite afirmar que la integración de la inteligencia artificial (IA) en la enseñanza de los procesos químicos constituye un campo emergente con un alto potencial transformador. Los estudios analizados evidencian que la IA ofrece oportunidades significativas para personalizar el aprendizaje, democratizar el acceso a laboratorios virtuales, fortalecer el pensamiento crítico y fomentar la autonomía estudiantil, siempre que se aplique bajo una mediación docente crítica y reflexiva (Riera, C., & Madelin, A., 2022).

No obstante, también se identificaron desafíos relevantes, entre los que destacan la persistente brecha digital, la precisión limitada de algunos modelos generativos y la carencia de formación ética y técnica del profesorado. Estos aspectos plantean la necesidad de políticas institucionales claras, inversión en infraestructura y programas de capacitación que garanticen un uso responsable y equitativo de las tecnologías basadas en IA.

Las evidencias sugieren que la IA no debe entenderse como un sustituto de la experiencia experimental, sino como un complemento pedagógico que amplía las posibilidades de enseñanza-aprendizaje, especialmente en procesos químicos complejos que demandan visualización, simulación y modelado predictivo. En este sentido, la combinación de prácticas tradicionales con entornos virtuales mediadas por IA puede enriquecer la formación científica y adaptarla a los retos del siglo XXI.

Finalmente, se concluye que la consolidación de la IA en la educación química requiere una implementación crítica, ética y contextualizada, donde el rol del docente se reafirme como mediador epistemológico y guía en el proceso de construcción del conocimiento. Las futuras investigaciones deberán explorar con mayor profundidad las aplicaciones prácticas, el impacto en el aprendizaje a largo plazo y los marcos pedagógicos que permitan equilibrar innovación tecnológica con humanismo educativo.

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 (<https://credit.niso.org/>). Los autores declaran sus contribuciones en la siguiente matriz:

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

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Amirbekova, E., Shertayeva, N., & Mironova, E. (2023). Teaching chemistry in the metaverse: The effectiveness of using virtual and augmented reality for visualization. *Frontiers in Education*, 8, 1184768. <https://doi.org/10.3389/feduc.2023.1184768>
- Ayuso, S. (2022). *La inteligencia artificial y sus aplicaciones educativas*. Editorial Síntesis.
- Badaró, J., Ibañez, A., & Agüero, M. (2013). Redes neuronales artificiales y algoritmos genéticos en investigación y mercados financieros. *Revista de Ciencias Sociales*, 19(2), 45-60.

- Baeza, M. (2021). *Historia de la química moderna: de la alquimia a la revolución química*. Editorial Akal.
- Barrio, A. (2018). *Inteligencia humana e inteligencia artificial: un enfoque antropológico*. Universidad Complutense de Madrid.
- Cabero-Almenara, J., & Llorente-Cejudo, C. (2020). Artificial intelligence and educational innovation: Challenges and opportunities. *Education in the Knowledge Society*, 21(1), 1-10. <https://doi.org/10.14201/eks.22061>
- Chaudhary, A., Kaur, P., & Singh, M. (2021). Artificial intelligence applications in chemistry education. *Journal of Chemical Education*, 98(3), 745–753. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.0c01234>
- Corvalán, J. (2017). *Inteligencias múltiples y educación: perspectivas contemporáneas*. Fondo Editorial Universitario.
- Eaton, S., Guglielmino, L., & Guglielmino, P. (2018). Interdisciplinarity and the challenges of teaching artificial intelligence. *Journal of Education Research*, 12(1), 45-59.
- Feldman, A., & Blonder, R. (2023). ChatGPT and chemistry education: Challenges and opportunities. *Chemistry Education Research and Practice*, 24(3), 345-356. <https://doi.org/10.1039/D3RP00088A>
- García-Peñalvo, F. J. (2021). Digital transformation in higher education: The role of artificial intelligence. *Education in the Knowledge Society*, 22, e23623. <https://doi.org/10.14201/eks.23623>
- Gisbert, M., & Esteve, F. (2016). Competencias digitales y educación universitaria: una perspectiva crítica. *Revista de Educación a Distancia*, 50, 1-18. <https://doi.org/10.6018/red/50/1>
- Holmes, W., Bialik, M., & Fadel, C. (2019). *Artificial Intelligence in Education: Promises and Implications for Teaching and Learning*. Center for Curriculum Redesign. <https://curriculumredesign.org/our-work/artificial-intelligence-in-education/>
- Leite, B. (2023). Inteligencia artificial generativa en educación: usos y desafíos. *Revista Iberoamericana de Educación*, 83(2), 97-118. <https://doi.org/10.35362/rie832563>
- Mariño, J., & Primorac, E. (2016). Ciencias de la computación y modelos de IA aplicados a la educación. *Revista de Tecnología Educativa*, 14(2), 229-243.
- Miaillhe, N., & Lannquist, Y. (2018). Artificial intelligence and global governance: Ethical and policy challenges. *AI & Society*, 33(4), 611-623. <https://doi.org/10.1007/s00146-017-0770-3>
- Morín, E. (2018). *La universidad del futuro: desafíos y perspectivas*. Paidós.
- Peña, J., Rodríguez, C., & Martínez, L. (2022). Inteligencia artificial aplicada a la enseñanza de la química: avances y retos. *Revista Iberoamericana de Educación en Ciencia y Tecnología*, 13(2), 45–59.
- Pounder, D., & Liu, Y. (2018). AI in Latin American education: Challenges and opportunities. *Journal of Educational Technology*, 39(1), 55-72.
- Ramos, J. (2014). Inteligencia artificial: de la IA débil a la IA fuerte. *Revista Española de Ciencia Cognitiva*, 8(2), 77-89.

- Riera, C., & Madelin, A. (2022). Deficiencias en el aprendizaje de la química universitaria: causas y soluciones. *Educación Química*, 33(1), 67-79. <https://doi.org/10.22201/fq.18708404e.2022.1>
- Saavedra, L. (2016). Avances tecnológicos y gestión del conocimiento. *Revista Latinoamericana de Innovación Educativa*, 12(2), 75-89.
- Sayán-Rivera, R. M. E. (2025). La inteligencia artificial en la enseñanza de las ciencias: una revisión crítica. *Revista Latinoamericana de Tecnología Educativa*, 24(1), 112–128.
- Vázquez, M., Pérez, R., & León, F. (2018). Aplicaciones de la inteligencia artificial en informática y robótica. *Revista de Tecnología Aplicada*, 9(1), 33-49.