

REVISIÓN SISTEMÁTICA PRISMA MODELOS DE IA APLICADOS EN LA ENSEÑANZA DE LA QUÍMICA.

Yessica Viviana Barragán Orjuela
Laura Brand López

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL



Fecha de recepción: 28 de febrero 2025

DOI: <https://doi.org/10.22267/huellas.251122.40>

Resumen.

Esta revisión analiza los aportes de las tecnologías emergentes, en particular la inteligencia artificial (IA), en la enseñanza de la química, destacando su valor pedagógico. El objetivo es identificar y clasificar las aplicaciones potenciales de estas tecnologías para el aprendizaje de conceptos químicos y ofrecer una visión general de su uso en este campo. La metodología es una revisión sistemática de artículos científicos y tesis publicadas entre 2005 y 2024 en bases de datos reconocidas, abarcando trabajos en español, inglés y portugués. Los resultados subrayan la implementación de tecnologías que facilitan la comprensión de fenómenos químicos a nivel simbólico, macroscópico, microscópico y de procesos. La categorización incluye modelos de aprendizaje profundo, supervisado, no supervisado y generativo. Los datos revelan la participación de varios países en los estudios analizados. Se concluye que la integración de IA y tecnologías emergentes en la enseñanza de la química tiene un gran potencial para enriquecer la educación, mejorando la precisión, accesibilidad y personalización del aprendizaje.

Palabras Clave: Inteligencia artificial, enseñanza de la química, simulaciones, tecnologías de la información y la comunicación, profesores en formación.

Abstract.

This review analyzes the contributions of emerging technologies, particularly artificial intelligence, to chemistry education, highlighting its pedagogical value. The objective is to identify and classify potential applications of these technologies for the learning of chemical concepts and provide an overview of their use in this field. The methodology is a systematic review of scientific articles and theses published between 2005 and 2024 in recognized databases, covering work in Spanish, English, and Portuguese. The results underscore the implementation of technologies that facilitate understanding of chemical phenomena at symbolic, macroscopic, microscopic, and process levels. Categorization includes models such as deep learning, supervised, unsupervised, and generative learning. Data reveals the participation of several countries in the analyzed studies. It is concluded that the integration of AI and emerging technologies in chemistry education holds significant potential to enrich education by improving the accuracy, accessibility, and personalization of learning.

Keywords: Artificial intelligence, chemistry education, simulations, information and communication technologies, teacher trainees.

PRISMA SYSTEMATIC REVIEW OF AI MODELS APPLIED IN CHEMISTRY TEACHING.

I. INTRODUCCIÓN.

Esta revisión se enmarca en las prácticas pedagógicas del programa de Licenciatura en Química de la Universidad Pedagógica Nacional y tiene como objetivo analizar los aportes y aplicaciones de la inteligencia artificial (IA) en la enseñanza y el aprendizaje de la química. En un contexto global donde las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) están redefiniendo los enfoques educativos, la integración de la IA en la enseñanza de ciencias no es simplemente una tendencia, sino una necesidad emergente. La química, una de las disciplinas que demanda un alto nivel de abstracción y pensamiento lógico, se ve particularmente beneficiada por las posibilidades que brindan estas tecnologías.

A través de esta revisión sistemática, se busca identificar las potencialidades de la implementación de uso de TIC e IA en el campo de la enseñanza de las ciencias, particularmente en la enseñanza de la química, destacando su capacidad para transformar los procesos de enseñanza-aprendizaje. La IA permite no solo automatizar ciertas tareas pedagógicas, sino que también ofrece herramientas poderosas para personalizar la instrucción, adaptándola a las necesidades individuales de los estudiantes y ello se ve reflejado en mejorar la comprensión de conceptos complejos. En ese orden de ideas las TIC, por su parte, facilitan el acceso a recursos interactivos y visuales que enriquecen la experiencia educativa, permitiendo una conexión más directa con los fenómenos químicos (Lindgren, 2023).

Comprender fenómenos de la química implica realizar diversos procesos cognitivos que se estructuran a través de múltiples niveles de representación: (a) el nivel simbólico, que incluye fórmulas, ecuaciones y gráficos; (b) el nivel macroscópico, que abarca fenómenos observables o tangibles; (c) el nivel microscópico o submicroscópico, que requiere explicaciones a nivel de partículas; y (d) el nivel de procesos, que aborda la interacción dinámica entre las sustancias (Pérez, 2018; Cruz, 2023). Estos niveles de comprensión suelen ser un desafío para los estudiantes, pero la IA y las TIC pueden

facilitar la transferencia entre ellos, ofreciendo visualizaciones y simulaciones que permiten una comprensión más intuitiva de los fenómenos químicos.

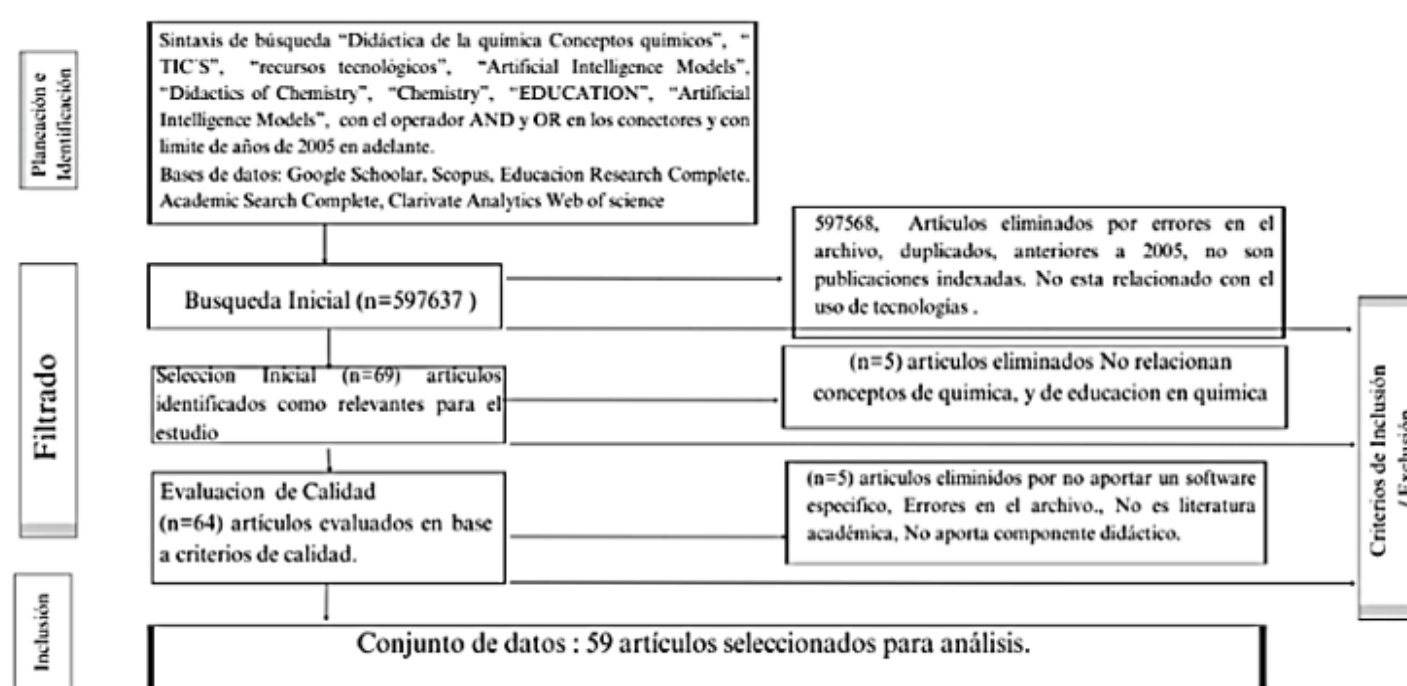
La IA, aplicada a la educación en química, puede optimizar procesos como la simulación de reacciones químicas, el análisis de datos complejos y la predicción de comportamientos moleculares. Tecnologías como la realidad aumentada y virtual, junto con los modelos de aprendizaje profundo, no solo mejoran la precisión en la representación de conceptos, sino que también hacen el aprendizaje más accesible y atractivo. Estas herramientas ayudan a superar las barreras tradicionales del aprendizaje en ciencias, como la falta de recursos o las limitaciones de infraestructura en los laboratorios escolares, al ofrecer entornos de aprendizaje inmersivos y simulaciones prácticas.

II. METODOLOGÍA.

Se utilizó el protocolo PRISMA para realizar una revisión sistemática de artículos científicos y tesis publicados entre 2005 y 2024, seleccionados de bases de datos reconocidas mediante palabras clave como “didáctica de la química”, “inteligencia artificial” y “prácticas de laboratorio”. Los criterios de inclusión se basaron en la relevancia para la enseñanza de conceptos químicos y el uso de TIC e IA en contextos educativos. Las preguntas clave del análisis fueron: ¿Cuál es el panorama actual de las TIC y la IA en la formación en química?, y ¿Cuáles son sus principales aportes para el proceso de enseñanza-aprendizaje?

La revisión incluyó trabajos en español, inglés y portugués, abarcando estudios de diversos países. La metodología PRISMA facilitó una categorización precisa de los estudios, clasificando los modelos de IA en aprendizaje profundo, supervisado, no supervisado y generativo, entre otros. (Ver Figura 1).

Figura 1: Esquema del proceso PRISMA en la investigación.



III. RESULTADOS.

Los datos recopilados y presentados en la Tabla 1, ofrecen una visión detallada de las publicaciones sobre IA y TIC en la enseñanza de la química entre 2005 y 2024. La distribución de las publicaciones por año, que se presenta

en la Gráfica 1, revela un patrón de crecimiento acelerado en los últimos cinco años. Este aumento coincide con el auge de las tecnologías emergentes en el campo educativo, así como con la pandemia de COVID-19, que impulsó el uso de herramientas tecnológicas en la enseñanza, especialmente en campos experimentales como la química.



Grafica 1: Relación de publicaciones por año. Fuente propia.

El análisis de las técnicas de IA utilizadas en los estudios muestra una evolución hacia modelos más sofisticados y adaptativos. El aprendizaje profundo, por ejemplo, ha sido clave en el análisis de datos complejos, tales como imágenes moleculares y estructuras tridimensionales. Esta técnica no solo facilita la visualización de estructuras químicas, sino que también permite a los estudiantes desarrollar habilidades visoespaciales críticas para comprender la geometría molecular, un área tradicionalmente difícil de enseñar en entornos convencionales (Rojas, 2023).

En cuanto al aprendizaje supervisado, los resultados destacan cómo este modelo mejora la experiencia educativa al entrenar algoritmos con datos etiquetados, lo que permite predecir resultados futuros en experimentos de química (Fergus, 2023; Jha et al., 2018). Por ejemplo, los estudiantes pueden utilizar estos modelos para simular reacciones químicas y predecir productos en función de diferentes variables, lo que representa una transformación en la forma en que se enseñan conceptos complejos como la estequiometría.

El aprendizaje *no supervisado*, por otro lado, ha demostrado ser particularmente útil para identificar patrones en datos sin etiquetar, como la predicción de propiedades electrónicas de moléculas. Este tipo de modelo ha revolucionado el análisis molecular al permitir que los estudiantes exploren relaciones entre descriptores moleculares y propiedades observadas sin la intervención directa de un docente, promoviendo una mayor autonomía en el aprendizaje (Montavon et al., 2013; Cabrera, 2018; Back et al., 2024).

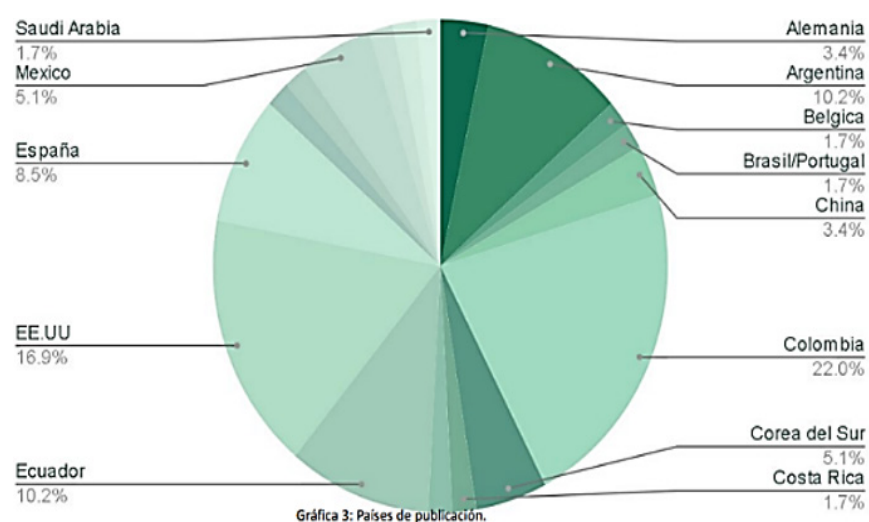
En cuanto a los *modelos generativos*, se observó que estos están diseñando sistemas que imitan funciones críticas en la química, como el reconocimiento de patrones y la toma de decisiones en la síntesis de compuestos. Esto no solo ayuda a los estudiantes a comprender los procesos químicos, sino que también les permite participar en el diseño de nuevas moléculas, un aspecto clave en la educación avanzada de la química (Goh et al., 2020; Amirbekova et al., 2024).

El *procesamiento de lenguaje natural* (PLN) ha tenido aplicaciones notables en la enseñanza de la química, facilitando la extracción y análisis de grandes volúmenes de información científica, además de captar aspectos actitudinales de los estudiantes (Jha, 2018). El PLN permite a los docentes evaluar de manera más eficiente la comprensión de conceptos por parte de los estudiantes, al procesar las respuestas en lenguaje natural y ofrecer retroalimentación en tiempo real.

Modelos de IA	Artículos	Técnicas
Aprendizaje Profundo	Cataldi, Donnamaria, Lage, (2009), Chen, et. al (2023), Cárdenas (2024), Hao Zhu, (2019), Gentili, Stano (2023), Asfaram, Ghaedi, Azghandi, Dastkhoona, (2016), Martin, Kranz, Wulff, Graulich(2023), Goh, Siegel, Vishnu, Hodas, Baker (2017), Jha et.al(2018), Dobbelaere, Plehiers, Van de Vijver, Stevens, Van Geem (2020), Keith et.al (2021), Fergus,(2023), Montavon et.al (2013), Kwak et.al (2024), Rojas (2023), Alhumade, Rezk, rahim Al-Zahrani, Zaman, Askalany (2021).	Redes Neuronales Artificiales (ANN), Aprendizaje Profundo (Deep Learning)redes neuronales convolucionales (CNN) aprendizaje automático
	Sanz, Martinez, (2005), Johnson-Glenberg, Birchfield, Sibel, (2009),Proszek, Ferreira,(2009), Venkatasubramanian (2018), Martin, Vaishali, Jain, Ghosh, Temitayo, (2024).	Procesamiento Automático y analisis de Datos, Evaluación Adaptativa, Aprendizaje Basado en el Reconocimiento de Patrones, sistemas expertos basados en conocimiento, redes neuronales recurrentes, Árboles de Decisión (Decision Tree).
Aprendizaje Supervisado y No Supervisado		Codex
Generativos	Hocky, White, (2022).	GPT-3 (Generative Pre-trained Transformer 3)
NLP	Chiu, (2021), Hocky, White, (2022), Chen et.al, (2023), Mancera et.al, (2023),Yik, Dood,(2024), Martin, Kranz, Wulff, Graulich, (2023),Kwak et.al, (2024).	NLP,GPT-3.5/ Large language model (LLM),BERT RoBERTa SciBERT Deep Neural Networks (DNN),Transformer

Tabla 1: Categorías de modelos IA. Fuente propia.

En términos de participación por países, la revisión muestra que, aunque Colombia ha demostrado un creciente interés en la aplicación de estas tecnologías, los estudios más avanzados provienen de países con mayores recursos tecnológicos. Estos países han implementado IA en la educación científica con un enfoque más integrado, lo que resalta la necesidad de mayores esfuerzos en Colombia para cerrar la brecha tecnológica en este campo.



Grafica 2: Participación por países. Fuente propia.

Los estudios revisados no solo exploran el uso de IA y TIC para facilitar la enseñanza de conceptos químicos básicos, sino también su aplicación en contextos investigativos y el desarrollo de nuevas estrategias pedagógicas. En este sentido, se destaca la capacidad de estas tecnologías para superar barreras tradicionales, como la falta de acceso a laboratorios físicos, al permitir simulaciones avanzadas de experimentos. Esto es particularmente relevante para instituciones con recursos limitados, donde la IA y las TIC pueden democratizar el acceso a una educación científica de calidad.

Finalmente, los datos recogidos y clasificados en la *Tabla 2* muestran cómo la IA se está utilizando en diversas áreas de la química, desde la enseñanza básica hasta la investigación avanzada. La creciente adopción de estas tecnologías sugiere un cambio de paradigma en la forma en que se imparten las ciencias, abriendo nuevas oportunidades tanto para los docentes como para los estudiantes.

#	Artículo	Técnica Utilizada	Tema
1	Sanz, Martínez, (2005). El Uso De Los Laboratorios Virtuales en la asignatura bioquímica como alternativa para la aplicación de las tecnologías de la información y la comunicación. Sanz	Modelación, Simulación, Procesamiento Datos, Laboratorios Virtuales.	Bioquímica
2	Johnson-Glenberg, Birchfield, Sibel, (2009). SMALLab: virtual geology studies using embodied learning with motion, sound, and graphics.	Seguimiento del Movimiento, Interacción, Análisis de Datos Educativos, Simulación.	Mineralogía
3	Cataldi, Donnamaria, Lage, (2009). Didáctica de la química y TICs: laboratorios virtuales, modelos y simulaciones como agentes de motivación y de cambio conceptual	Redes Neuronales Artificiales (ANN), Aprendizaje Profundo (Deep Learning), Algoritmos de Aprendizaje Supervisado y No Supervisado	Hibridación, Ley de gases, estructuras químicas.
4	Pérez et al., (2009). Experiencias de enseñanza de la química con el apoyo de las TIC's.	Sistemas expertos	Química General
5	Proszek, Ferreira, (2009). Enseñanza de la Química en Ambientes Virtuales: Blogs	NLP	Petroquímica
6	Prado, (2009). Aprendizaje colaborativo mediado como estrategia didáctica para la enseñanza del equilibrio químico ácido base	Plataforma "CouldLabs"	Equilibrio químico
7	González et al., (2011). Estrategia didáctica con mediación de las TIC, propicia significativamente el aprendizaje de la Química Orgánica en la educación secundaria	Recursos Educativos Digitales (RED)	Química Orgánica
8	Marzocchi, Vilchez, O'Mato, (2012). Incorporación de TICs de modelado molecular en la enseñanza universitaria de la Química	Blog, Bubl, Jmol	Química Inorgánica
9	Chavarro (2013). Medios didácticos basados en las TIC, como herramientas de apoyo virtual en la enseñanza de la química orgánica.	Plataforma Arduino	Estructura de Lewis, carga formal.
10	Hernández, Rodríguez, Parra, Velázquez, (2014). Las Tecnologías de la Información y la Comunicación TIC's en la enseñanza aprendizaje de la química orgánica a través de imágenes, juegos y video.	laboratorios virtuales	Química orgánica

11	Hernández, (2014) Implementación de las TIC en la enseñanza de la cinética y equilibrio químico en los estudiantes del grado 11 de la Institución Educativa Emiliano García	Recurso didáctico ChemCollective para aprendizaje de Química Analítica	Cinética química y equilibrio químico
12	Fiad, Galarza, (2015) El Laboratorio Virtual como Estrategia para el Proceso de Enseñanza-Aprendizaje del Concepto de Mol.	laboratorio virtual	mol
13	Sasson, Dori, (2015). A Three-Attribute Transfer Skills Framework – Part II: Applying and Assessing the Model in Science Education	Herramientas de Química Computacional (ORCA y Avogadro)	ácidos bases
14	Rodríguez, (2018)., (2018) Tecnologías de hoy: perspectivas y desafíos de la educación en la era digital. Homenaje a los 25 años de creación de la maestría en Tecnologías de la Información Aplicadas a la Educación	Simulación molecular	Educación científica
15	Cabrera (2018). Empleo de software de simulación de prácticas de laboratorio en el desarrollo de las clases prácticas en la cátedra de química analítica I.	Entornos inmersivos.	Espectrofotometría
16	Vera, Irene, Stoppello, Petris, Giménez, (2018). Recursos TIC para el aprendizaje de la química y la física en el ciclo básico universitario.	Laboratorios virtuales Crocodile Chemistry	Química General
17	Guerrero, Ramos (2018). Uso de un simulador para facilitar el aprendizaje de las reacciones de óxido-reducción. Estudio de caso Universidad de Málaga	Simuladores y plataformas de aprendizaje en línea	Reacciones de Oxido reducción, Electroquímica
18	Rojas, Zapata, Sánchez, Montaña (2018) Nuevas TIC: herramientas para propuestas didácticas en el área de Química.	(ChatGPT, Perplexity)	Química general
19	Amaral, Eichler, (2018). As tecnologías digitais e o ensino de Química: o caso do Programa de Desenvolvimento Profissional para Professores da CAPES.	Modelado molecular computacional	Química general
20	Velandia, (2020) TIC en el aula de química: Incidencia en los procesos de aprendizaje de conceptos básicos de estequiometría en estudiantes de grado décimo de educación media.	Modelado molecular	Estequiometría
21	Sosa, Rodríguez, Álvarez, Forero, (2020). Mobile learning como estrategia innovadora en el aprendizaje de la química inorgánica	Moodle	Grupos funcionales inorgánicos
22	Romero, (2021) Integración efectiva de las TIC en la enseñanza de química: estrategias innovadoras para la docencia universitaria.	Aprendizaje Adaptativo	Enseñanza de la química
23	Arroba, Acurio, (2021). Laboratorios virtuales en entorno de aprendizaje de química orgánica, para el bachillerato ecuatoriano. recurso didáctico para el aprendizaje de Química Analítica con estudiantes de cuarto semestre de la carrera de Pedagogía de las Ciencias Experimentales: Química y Biología.	Modelado molecular y herramientas de Química Computacional (ORCA y Avogadro)	Escala de PH, Estados de la materia, Propiedades de los gases
34	Vengara, Carrillo, (2023). Uso de Inteligencia Artificial para diseñar propuestas didácticas de Física y Química en Educación Secundaria	TIC, laboratorios virtuales, simuladores, encuestas, análisis estadístico	Química Analítica
35	Chen et al, (2023). Application and teaching of computer molecular simulation embedded technology and artificial intelligence in drug research and development.	ChatGPT y Perplexity	Química general.
36	aprendizaje de química por personas con escolaridad inconclusa.	Aprendizaje Automático (Machine Learning): Modelado de Redes Neuronales Artificiales Simulación Molecular por Computadora (Computer Molecular Simulation)	Docking molecular
37	Cruz, (2023). Reestructuración de laboratorios de química para docentes en formación: una mirada diagnóstica y de pilotaje hacia laboratorios tri-componente.	lenguaje natural, Sistemas de recomendación.	Química general.
38	laboratorio extendido simplificado en secuencias de enseñanza aprendizaje en el ciclo básico del nivel secundario de Córdoba	(ChatGPT, Perplexity)	laboratorio química instrumental, teorías químicas.
39	Rojas, (2023). Análisis de buenas prácticas en la implementación de dos herramientas computacionales para el abordaje del tema Geometría Molecular en un curso de Química Orgánica a nivel universitario	Simulación molecular,	propiedades de los materiales.
40	Cárdenas, (2024). El uso de la inteligencia artificial en la creación de entornos de aprendizaje inmersivos en la educación superior. Revisión sistemática.	Algoritmos de optimización heurística, aprendizaje automático.	Geometría molecular, química orgánica.
41	Venkatasubramanian (2018) "The Promise of Artificial Intelligence in Chemical Engineering: Is It Here, Finally?"	Modelos Generativos Adversarios (GAN): Redes Neuronales Recurrentes (RNN): Aprendizaje por Refuerzo (RL):	Química General
42	Dobbelaere, Plehiers, Van de Vijver, Stevens, Van Geem (2020). "Machine Learning in Chemical Engineering: Strengths, Weaknesses, Opportunities, and Threats.	Estrategias de Inferencia / Simulación y Modelos Híbridos	catalizadores, la síntesis de procesos.
43	Keith et al (2021). Combining Machine Learning and Computational Chemistry for Predictive Insights Into Chemical Systems.	aprendizaje automático (machine learning)	Modelado químico
44	Zhu, (2019) "Big Data and Artificial Intelligence Modeling for Drug Discovery"	aprendizaje automático	Propiedades Moleculares
45	Fergus, Botha, Mehroozh, (2023) Evaluating Academic Answers Generated Using ChatGPT.	Redes Neuronales Convolucionales (CNN) - Modelos de Aprendizaje Profundo Generativo (GAN)	Estructura química de compuestos
46	Asfaram, Ghaedi, Azghandi, Dastkhoon, (2016). Statistical experimental design, least squares support vector machine (LS-SVM) and artificial neural network (ANN) methods for modeling the facilitated adsorption of methylene blue dye.	Procesamiento del Lenguaje Natural	Química orgánica
47	Montavon et al (2013). "Machine learning of molecular electronic properties in chemical compound space.	Redes Neuronales Artificiales (ANN)/ Máquina de Vectores de Soporte de Mínimos Cuadrados (LS-SVM)	Nanopartículas
48	Jha et al (2018) "ElemNet: Deep Learning the Chemistry of Materials From Only elemental Composition".	Modelo de representación de características/ Simulación.	electrónicas moleculares
49	Deep Neural Network with Minimal Chemistry Knowledge Matches the Performance of Expert-developed QSAR/QSPR Models.	DNN/ CNN	Composición elemental/ interacciones químicas/
50	Yik, Doud (2024) "ChatGPT Convincingly Explains Organic Chemistry Reaction Mechanisms Slightly Inaccurately with High Levels of Explanation Sophistication"	(CNN).	estructura molecular, descriptores moleculares.
51	Martin, Vaishtai, Jain, Ghosh, Temitayo, (2024) ChemAlstry: A Novel Software Tool for Teaching Model Training in K-8 Education.	GPT-3.5/ Large language model (LLM)	química orgánica, mecanismos de reacción,
52	Alhumade, Rezak, Al-Zahrani, Zaman, Askalany (2021) "Artificial Intelligence Based Modelling of Adsorption Water Desalination System"	Árbol de decisión (Decision Tree)	laboratorio/ Equipos de protección personal (PPE)/
53	Amirbekova, Shertayeva, Mironova (2024). "Teaching chemistry in the metaverses: the effectiveness of using virtual and augmented reality for visualization"	Motores gráficos y algoritmos de interacción para la creación y control de macromoléculas biológicas en realidad mixta.	Química Orgánica e Inorgánica/ Química Analítica y Espectroscopía
54		multiagente/ redes neuronales profundas / Docking molecular / lógica difusa.	Compuestos moleculares y supramoleculares/

55	Gentili, Stano (2023) 'Tracing a new path in the field of AI and robotics: mimicking human intelligence through chemistry. Part II: systems chemistry.'	Modelado Molecular y Simulación Computacional, Sistemas Basados en Reglas - Modelado de Agentes Autónomos - Técnicas de Control	Bioquímica/ química de materiales/ química computacional/
56	Martin, Kranz, Wulff, Graulich(2023). Exploring new depths: Applying machine learning for the analysis of student argumentation in chemistry.	BERT, RoBERTa, SciBERT (Scientific BERT), Deep Neural Networks.	Reacciones Químicas
57	Back et al. (2023). Accelerated chemical science with AI	Aprendizaje automático machine learning	industria y la investigación.
58	Kwak et al. (2024). GeoT: A Geometry-Aware Transformer for Reliable Molecular Property Prediction and Chemically Interpretable Representation Learning.	Transformer	molecular. Propiedades moleculares
59	Kim et al. (2023) Chemistry-informed machine learning: Using chemical property features to improve gas classification performance.	Support Vector Classifier (SVC) - Clasificador de Máquinas de Vectores de Soporte.	Propiedades químicas de los analitos

IV. DISCUSIÓN.

El análisis revela que los modelos emergentes de TIC e IA tienen el potencial de transformar los espacios de aprendizaje científico, como los laboratorios de química, haciéndolos más accesibles, dinámicos y eficientes. En particular, tecnologías como la realidad aumentada y las simulaciones inmersivas permiten una inmersión de los estudiantes al interactuar con conceptos abstractos de una manera más intuitiva y visual. Estas herramientas hacen posible que procesos químicos complejos, que tradicionalmente resultan difíciles de enseñar a través de métodos convencionales, se comprendan de forma más interactiva y visual. Durante la pandemia, por ejemplo, el uso de estas tecnologías creció exponencialmente, permitiendo que las prácticas de laboratorio se realizaran de manera virtual, lo que demostró su relevancia para replicar ambientes educativos experimentales de manera remota y flexible (Amaral-Rosa & Eichler, 2018; Venkatasubramanian, 2018; Guevara et al., 2020).

Esta experiencia marcó un punto de partida clave para replantear los modelos de aprendizaje profundo aplicados a la enseñanza de la química. Tecnologías como la inteligencia artificial no solo enriquecen el aprendizaje mediante simulaciones avanzadas, sino que también fomentan el desarrollo de habilidades críticas, como la visualización tridimensional de moléculas y la capacidad de realizar predicciones sobre las reacciones químicas (Chen, 2023; Rojas, 2023). En este sentido, las simulaciones de realidad aumentada y mixta no son simplemente un complemento, sino un recurso clave para integrar teoría y práctica en la educación científica.

Sin embargo, en el contexto colombiano se observa que la implementación de IA aún está en sus primeras etapas. Aunque el uso de TIC ha sido fundamental para mejorar el acceso a recursos educativos, la transición hacia el uso de IA enfrenta desafíos importantes, como la necesidad de formar personal capacitado en su implementación. Esto implica un reto tanto para las instituciones educativas

como para el sistema educativo en su conjunto, ya que la formación de docentes en IA y TIC es indispensable para que estas promuevan un enfoque pedagógico más innovador y participativo (González Llanos, 2011; Largo Taborda et al., 2022; Cárdenas, 2024).

Es vital que los enfoques educativos se orienten a generar más acceso y participación, incentivando a los estudiantes a involucrarse activamente en la creación de conocimiento. La IA y las TIC no solo permiten una enseñanza más personalizada, sino que abren la puerta a la democratización del acceso al conocimiento científico, especialmente en instituciones con limitaciones de infraestructura. Los estudiantes pueden experimentar y desarrollar hipótesis sobre sistemas químicos complejos en entornos virtuales, algo que de otro modo estaría fuera de su alcance en un laboratorio físico.

Las mejoras en el rendimiento académico, particularmente en entornos experimentales simulados, destacan cómo la IA puede transformar la enseñanza de la química. Las simulaciones moleculares, por ejemplo, permiten una mejor visualización de los sistemas químicos y la formulación de hipótesis más fundamentadas. Este tipo de tecnología facilita el análisis y la comprensión de la geometría molecular, un área tradicionalmente desafiante para los estudiantes (Pino et al., 2001; Montavon et al., 2013; Chiu, 2021 Mesías Álvarez, 2023).

También se destaca cómo las limitaciones de acceso a laboratorios físicos en instituciones con recursos escasos pueden mitigarse mediante el uso de laboratorios virtuales basados en IA. Estas herramientas permiten el acceso a una formación de calidad sin necesidad de instalaciones físicas, democratizando la enseñanza y proporcionando soluciones innovadoras a problemas estructurales de larga data en el sistema educativo colombiano.

V. CONCLUSIONES.

La presente revisión sistemática demuestra que la integración de la IA y TIC en la enseñanza de la química ofrece un potencial significativo para transformar la educación científica en las aulas. Estas tecnologías facilitan la enseñanza y el aprendizaje de conceptos complejos, como es el caso de las reacciones químicas y la geometría molecular, y a su vez abren nuevas vías para la personalización del aprendizaje y el acceso equitativo a recursos educativos avanzados.

Como se ha expuesto, uno de los hallazgos más reveladores es el impacto que tienen las simulaciones y las tecnologías inmersivas, como la realidad aumentada y la realidad mixta, pueden tener en la enseñanza de la química. Estas herramientas han demostrado ser especialmente útiles para superar las barreras tradicionales asociadas a la enseñanza experimental, permitiendo a los estudiantes interactuar con fenómenos químicos de manera más tangible y comprensible. La IA, al personalizar el aprendizaje y proporcionar retroalimentación inmediata, facilita que se desarrolle una mirada distinta frente a la relación de conceptos abstractos, lo que se traduce en una mejor retención del conocimiento y en un aprendizaje más activo y autónomo.

Sin embargo, para que la IA y las TIC puedan desplegar todo su potencial transformador, es necesario que las instituciones educativas adopten un enfoque más integral que incluya la capacitación docente, la inversión en infraestructura tecnológica y el desarrollo de políticas educativas que promuevan el uso innovador de estas tecnologías. En el contexto colombiano, aunque ha habido un creciente interés por la implementación de IA en la educación, este proceso todavía se encuentra en una fase temprana, lo que destaca la necesidad urgente de formación en habilidades tecnológicas y pedagógicas para docentes.

Además, la IA tiene el potencial de revolucionar no solo la enseñanza, sino también la investigación en química. Las herramientas basadas en IA, como el aprendizaje profundo y el procesamiento de lenguaje natural, permiten a los estudiantes y docentes explorar nuevas fronteras en el análisis de datos complejos y en la formulación de hipótesis científicas. Estas tecnologías contextualizadas en el campo educativo pueden mejorar la capacidad de los estudiantes para visualizar y comprender los fenómenos químicos, facilitando un aprendizaje más profundo y conectado con la práctica científica.

Aunque esta revisión sistemática evidencia el potencial transformador de la inteligencia artificial y las TIC en la enseñanza de la química, se identifican algunas limitaciones que deben considerarse. La mayoría de los estudios revisados provienen de contextos con alta disponibilidad tecnológica, lo que limita la aplicabilidad directa de sus resultados a entornos con restricciones de infraestructura, como muchas instituciones educativas en América Latina. Además, se observó una baja representación de investigaciones centradas en niveles escolares básicos o en programas de formación docente inicial. En consecuencia, se recomienda fomentar

investigaciones situadas en contextos educativos diversos, especialmente aquellos con recursos limitados. Asimismo, se sugiere impulsar políticas institucionales que promuevan la capacitación docente en tecnologías emergentes, así como el diseño de recursos didácticos mediados por IA que respondan a las necesidades locales. Este tipo de iniciativas permitirá que la innovación tecnológica se traduzca en mejoras reales y equitativas en la enseñanza de la química.

Bibliografía.

Amirbekova, E., Shertayeva, N., & Mironova, E. (2024). *Teaching chemistry in the metaverse: the effectiveness of using virtual and augmented reality for visualization*. Front. Educ.

Amaral-Rosa, M. P., & Eichler, M. L. (2018). *Digital technologies and Chemistry teaching: The case of CAPES Professional Development Program for Teachers*. Praxis Educative, 13(2), 515–539.

Back, S., Aspuru-Guzik, A., Ceriotti, M., Gryn'ova, G., Grzybowski, B., Gu, G. H., ... & Walsh, A. (2024). *Accelerated chemical science with AI*. Digital Discovery.

Becerra, M., Andrés, D., Mendoza, P., Colegio, S., & Maldonado De Tunja, C. (2021). *La enseñanza de las reacciones químicas y la estequiometría mediadas por tic y la experimentación*.

Buj, M. S. A., & Revuelta, M. J. C. (2020). *Use of sensors and automatic data collection equipment in the practical work of Physics and Chemistry of middle and high school: The Arduino platform*. Revista Eureka.

Cabrera de Vera, Amapola. (2018). Empleo de software de simulación de prácticas de laboratorio en el desarrollo de las clases prácticas en la cátedra de química analítica I.

Cárdenas Benavides, J. P., Carvajal Chavez, C. A., Tomalá de la Cruz, A. del R., & Tovar Arcos, Á. X. (2024). *El uso de la inteligencia artificial en la creación de entornos de aprendizaje inmersivos en la educación superior*. Revisión sistemática. RECIAMUC, 8(1), 348–356.

Chen, X., Zhang, J., Zhao, Q., Ding, L., Wu, Z., Jia, Z., & He, D. (2023). Application and teaching of computer molecular simulation embedded technology and artificial intelligence in drug research and development. Open Life Sciences, 18(1).

Chiu, W. K. (2021). *Pedagogy of emerging technologies in chemical education during the era of digitalization and artificial intelligence: a systematic review*. Education Sciences, 11(11). MDPI.

Fergus, S., Botha, M., & Ostovar, M. (2023). Evaluating academic answers generated using ChatGPT. Journal of Chemical Education.

Goh, G. B., Siegel, C., Vishnu, A., Hodas, N. O., & Baker, N. (2020). *Chemception: A deep neural network with minimal chemistry knowledge matches the performance of expert-developed QSAR/QSPR models*. Pacific Northwest National Laboratory.

González Llanos, J. (2011). Estrategia didáctica con mediación de TIC, propicia significativamente el aprendizaje de la Química Orgánica en la educación secundaria.

Guevara Ortiz, E. A., Laura, H., & Orobajo, L. (2020). El Laboratorio de las Reacciones Químicas: una aplicación desde TIC's para la Transformación de un ambiente verde y sustentable.

Hocky, G. M., & White, A. D. (2022). *Natural language processing models that automate programming will transform chemistry research and teaching*. Digital Discovery, 1(2), 79–83.

Johnson-Glenberg, M. C., Birchfield, D., & Usyal, S. (2009). SMALLab: *Virtual geology studies using embodied learning with motion, sound, and graphics*. Educational Media International, 46(4), 267–280.

Jha, D., Ward, L., Paul, A., Liao, W., Choudhary, A., Wolverton, C., & Agrawal, A. (2018). ElemNet: Deep Learning the Chemistry of Materials From Only Elemental Composition. Scientific Reports.

Largo Taborda, W. A., Zuluaga-Giraldo, J. I., López Ramírez, M. X., & Grajales Ospina, Y. F. (2022). *Enseñanza de la química mediada por TIC: un cambio de paradigma en una educación en emergencia*. Revista Interamericana de Investigación Educación y Pedagogía RIIEP, 15(2).

Lindgren, S. (2023). Handbook of Critical Studies of Artificial Intelligence.

López Guerrero, M. del M., López Guerrero, G., & Rojano Ramos, S. (2018). *Uso de un simulador para facilitar el aprendizaje de las Reacciones de Óxido-Reducción. Estudio de caso en la Universidad de Málaga*. Educación Química, 29(3), 79.

Mariño, S., & Rambo, A. (2014). Experiencia de Intercambio Docente en dos Asignaturas de Inteligencia Artificial en Universidades Argentinas.

Montavon, G., Rupp, M., Gobre, V., Vazquez-Mayagoitia, A., Hansen, K., Tkatchenko, A., Müller, K.-R., & von Lilienfeld, O. A. (2013). Machine learning of molecular electronic properties in chemical compound space. New Journal of Physics, 15, 095003.

Perez Orozco, B. (2018). Inteligencia artificial. INCyTU, n. 12.

Pino Díez, R., Gómez Gómez, A., & Abajo Martínez. (2001). Introducción a la inteligencia artificial: sistemas expertos, redes neuronales artificiales y computación evolutiva. Servicio de Publicaciones, Universidad de Oviedo.

Proszek, R., & Ferreira, M. (2009). *Enseñanza de la Química en Ambientes Virtuales: Blogs*. Formación Universitaria, 2(6). Romero, Y. (2020). Artículo de Revisión Integración efectiva de las TIC en la enseñanza de química: estrategias innovadoras para la docencia universitaria.

Venkatasubramanian, V. (2018). The promise of artificial intelligence in chemical engineering: Is it here, finally? AIChE Journal, 65(2), 466–471.

Zhu, H. (2020). *Big Data and Artificial Intelligence Modeling for Drug Discovery*. Annual Review of Pharmacology and Toxicology, 60, 573–589.



HUELLAS EDICIÓN 22

HUELLAS EDICIÓN 22