

Aprendizaje de reacciones ácido–base mediante simuladores virtuales y microexperimentos domésticos en estudiantes de Bachillerato General Unificado

Learning acid-base reactions through virtual simulators and home micro-experiments in students of General Unified Baccalaureate

Alberto Ismael Wong Dillon¹, Jessica Katherine Bailón Ordóñez², Victor Emanuel Macías Zambrano³, Kelin Zoilita Ibarra Viscarra⁴, Jefferson Santo Carriel Navas⁵

Cita:

Wong Dillon, A. I., Bailón Ordóñez, J. K., Macías Zambrano, V. E., Ibarra Viscarra, K. Z., & Carriel Navas, J. S. (2026). Aprendizaje de reacciones ácido–base mediante simuladores virtuales y microexperimentos domésticos en estudiantes de Bachillerato General Unificado. *Prometeo Conocimiento Científico*, 6(2), e144.

<https://doi.org/10.55204/pcc.v6i2.e144>

Recibido: 20 de abril de 2026

Revisado: mayo–junio de 2026

Corregido: 13 de julio de 2026

Aceptado: 20 de julio de 2026

Publicado: 27 de julio de 2026

Licencia:

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.

^{1,4,5} Academia Naval Almirante Illingworth

² Independiente

³ Ministerio de Educación, Deporte y Cultura

¹awong@anai.edu.ec; ²ykbailon@hotmail.com; ³enmanuelv.macias@docentes.educacion.edu.ec;

⁴kibarra@anai.edu.ec; ⁵jcarriel@anai.edu.ec

¹0000-0003-0114-8077; ²0009-0002-5627-0651; ³0009-0002-1328-7517; ⁴0009-0002-2581-7757;

⁵0009-0007-6554-2694

Resumen: El objetivo de esta investigación fue evaluar la incidencia de una estrategia didáctica que integró simuladores virtuales y microexperimentos domésticos en el aprendizaje de las reacciones ácido–base en estudiantes de Bachillerato General Unificado de instituciones fiscales de Guayas, Manabí y Los Ríos, Ecuador. Se adoptó un enfoque mixto de predominio cuantitativo, con diseño cuasiexperimental pretest–posttest y grupo control no equivalente. Participaron 269 estudiantes: 135 en el grupo experimental y 134 en el grupo control. Durante seis semanas, el grupo experimental desarrolló doce sesiones de indagación guiada con la simulación Acid-Base Solutions de PhET y actividades de microescala con materiales domésticos de bajo riesgo. Se aplicó una prueba de 25 ítems, una escala Likert, rúbricas, guías de observación, diarios reflexivos y entrevistas. El grupo experimental pasó de una media de 5.31 a 8.64, mientras que el control pasó de 5.28 a 6.37; la diferencia del posttest fue estadísticamente significativa, $t(267) = 11.58$, $p < .001$. Los hallazgos cualitativos destacaron comprensión conceptual, motivación, relación teoría–práctica y autonomía. Se concluye que la estrategia híbrida favoreció un aprendizaje más comprensivo, contextualizado y accesible de la química.

Palabras clave: simuladores virtuales, reacciones ácido–base, microexperimentos domésticos, aprendizaje significativo, enseñanza de la química.

Abstract: This study evaluated the effect of a teaching strategy that integrated virtual simulations and home micro-experiments on acid–base reaction learning among General Unified Baccalaureate students from public schools in Guayas, Manabí, and Los Ríos, Ecuador. A mixed-methods approach with quantitative predominance and a quasi-experimental pretest–posttest design with a non-equivalent control group was used. The sample comprised 269 students: 135 in the experimental group and 134 in the control group. Over six weeks, the experimental group completed twelve guided-inquiry sessions using the PhET Acid-Base Solutions simulation and microscale activities with low-risk household materials. Data were collected through a 25-item test, a Likert scale, performance rubrics, observation guides, reflective journals, and interviews. The experimental group increased its mean score from 5.31 to 8.64, whereas the control group increased from 5.28 to 6.37; the posttest difference was statistically significant, $t(267) = 11.58$, $p < .001$. Qualitative findings emphasized conceptual understanding, motivation, theory–practice connections, and autonomy. The hybrid strategy therefore supported more comprehensive, contextualized, and accessible chemistry learning.

Keywords: virtual simulations, acid–base reactions, home micro-experiments, meaningful learning, chemistry education.

INTRODUCCIÓN

Problema educativo y fundamento conceptual

La comprensión de las reacciones ácido–base constituye un componente central del currículo de Química del Bachillerato General Unificado, porque articula nociones de pH, fuerza ácido–base, concentración, indicadores y neutralización. Su aprendizaje exige relacionar evidencias macroscópicas, explicaciones submicroscópicas y representaciones simbólicas; cuando estas dimensiones se enseñan de forma aislada, los estudiantes pueden memorizar procedimientos sin construir explicaciones químicas coherentes (Cooper, 2018; Rahmawati et al., 2022).

Las metodologías activas ofrecen una alternativa frente a este problema al situar al estudiante en tareas de exploración, contraste y argumentación. La evidencia educativa señala que la participación guiada y el uso de recursos manipulativos facilitan la comprensión de conceptos abstractos y fortalecen la construcción

autónoma del conocimiento (Acosta Porras et al., 2024; Alarcon Burneo et al., 2024). En química, estas condiciones son especialmente relevantes porque muchos procesos no pueden observarse directamente y requieren modelos que conecten lo visible con el comportamiento de partículas e iones.

Simulación virtual y microexperimentación

Los simuladores virtuales permiten manipular variables, repetir procedimientos y visualizar fenómenos difíciles de reproducir en un laboratorio escolar. PhET ha sido documentado como un recurso transformador para la enseñanza de la química (Moore et al., 2014), y estudios posteriores han mostrado mejoras en comprensión conceptual, actitudes y retención cuando las simulaciones se integran con preguntas de indagación y mediación docente (Salame & Makki, 2021; Alemneh et al., 2024; Ndagijimana et al., 2025). Las percepciones estudiantiles también suelen ser favorables, aunque el valor pedagógico depende del diseño de las actividades y no únicamente de la disponibilidad de la herramienta (Batamuliza et al., 2024; Palacios Ortega et al., 2024).

La experimentación de microescala complementa la visualización digital con evidencias empíricas. El uso de cantidades reducidas y materiales accesibles disminuye costos y riesgos, mantiene la observación y el análisis químico, y se relaciona con principios de química verde (Hidayah et al., 2022; Mardhiya & Laila, 2022; Dicks, 2023). La combinación de laboratorios virtuales y actividades prácticas puede producir mejores resultados que su utilización aislada, porque permite anticipar procesos en el modelo, contrastarlos mediante la experiencia y elaborar una explicación posterior (Kapici et al., 2019; Gnesdilow & Puntambekar, 2021). Esta integración también coincide con revisiones sobre trabajo de laboratorio e indagación en educación secundaria (Gericke et al., 2022; Jegstad et al., 2024).

El valor de una estrategia híbrida no se limita al rendimiento. Los entornos virtuales y las experiencias prácticas pueden promover autoeficacia experimental, participación y aprendizaje autónomo cuando incluyen retroalimentación, colaboración y reflexión (Kolil et al., 2020; Reeves & Crippen, 2021). Asimismo, la integración de metodologías activas y recursos digitales forma parte de modelos educativos híbridos que buscan una enseñanza más interactiva y adaptable (Bernal Parraga et al., 2026), y demanda preparación docente para diseñar experiencias centradas en el estudiante (Bernal Parraga et al., 2025).

Condiciones tecnológicas e institucionales

La aplicación de simuladores en contextos fiscales depende de condiciones de acceso, conectividad y soporte institucional. En Ecuador, los estudios sobre requerimientos tecnológicos, servicios de telecomunicaciones y usos académicos de plataformas digitales han mostrado que la infraestructura de red y la apropiación pedagógica de las TIC deben planificarse de manera conjunta (Santillán Lima et al., 2016; Santillán-Lima et al., 2017a, 2017b). Esta necesidad resulta especialmente importante en instituciones con recursos heterogéneos, donde la brecha digital puede afectar la frecuencia y calidad de la interacción con los recursos virtuales (Dixit et al., 2022).

Además del acceso, la implementación institucional requiere gestión de la información y prácticas confiables de comunicación. Bernal y Guarda (2020) destacan la función de la gestión de información en la formulación de estrategias educativas innovadoras. Desde una perspectiva transversal, los principios de seguridad en redes analizados por Santillán-Lima et al. (2021) en el ámbito de la custodia digital permiten recordar que las plataformas educativas también deben proteger la transmisión y el tratamiento de datos; esta referencia se incorpora como consideración de infraestructura y no como evidencia directa sobre aprendizaje. La sostenibilidad del cambio también depende de la capacidad de adaptación del profesorado; aunque se estudió en educación superior, Heredia et al. (2024) muestran que la resiliencia docente es una variable institucional pertinente ante escenarios de transformación educativa.

Brecha de investigación, objetivo e hipótesis

Pese al desarrollo de la literatura internacional, existe menor evidencia situada sobre la combinación de simuladores de química y microexperimentos domésticos en estudiantes de Bachillerato General Unificado de instituciones fiscales ecuatorianas. En particular, se requiere conocer si una secuencia híbrida puede mejorar simultáneamente la comprensión de pH, neutralización e indicadores, y si los estudiantes perciben

una relación más clara entre la teoría y situaciones cotidianas.

El objetivo general fue evaluar la incidencia de una estrategia didáctica basada en simuladores virtuales y microexperimentos domésticos sobre el aprendizaje de las reacciones ácido-base. De manera específica, se buscó identificar conocimientos previos y concepciones alternativas, diseñar y aplicar una secuencia articulada con el currículo, comparar el rendimiento antes y después de la intervención y examinar cambios en motivación, participación, capacidad explicativa y autonomía. Se planteó como hipótesis que el grupo experimental obtendría un desempeño posttest superior al del grupo control y mostraría valoraciones cualitativas favorables hacia la estrategia.

METODOLOGÍA

Enfoque, diseño y contexto

El estudio adoptó un enfoque mixto de predominio cuantitativo. El componente principal correspondió a un diseño cuasiexperimental pretest–posttest con grupo control no equivalente, mientras que el componente cualitativo permitió interpretar la experiencia de los estudiantes mediante observaciones, diarios reflexivos y entrevistas. La intervención se desarrolló durante seis semanas, distribuidas en doce sesiones, en instituciones educativas fiscales presenciales de zonas urbanas y semiurbanas de Guayas, Manabí y Los Ríos.

El grupo experimental trabajó con una secuencia híbrida de simulación y microexperimentación; el grupo control recibió clases expositivas y resolución convencional de ejercicios sobre los mismos contenidos. Debido a que los grupos pertenecían a cursos previamente conformados, no se realizó asignación aleatoria individual.

Participantes

La muestra no probabilística por conveniencia estuvo integrada por 269 estudiantes de Bachillerato General Unificado, con edades entre 15 y 18 años. El grupo experimental reunió 135 participantes y el grupo control 134. Del total, 110 estudiantes (40.9 %) correspondieron al género masculino y 159 (59.1 %) al género femenino.

Los criterios de inclusión fueron matrícula activa en BGU, asistencia regular a clases presenciales y acceso básico a un dispositivo digital para utilizar el simulador. Se excluyeron los registros de estudiantes que no completaron las fases principales de la intervención o alguna de las evaluaciones requeridas. La selección territorial permitió incorporar instituciones con distintos niveles de acceso tecnológico, aunque no garantiza representatividad estadística de toda la población ecuatoriana.

Intervención didáctica

La secuencia se organizó en cuatro momentos: activación de conocimientos previos; exploración guiada con el simulador Acid-Base Solutions de PhET Interactive Simulations; realización de microexperimentos domésticos; y análisis, discusión y elaboración de conclusiones. La simulación permitió explorar ácidos fuertes y débiles, concentración iónica, cambios de pH, neutralización e indicadores mediante representaciones dinámicas. Su selección se sustentó en su aplicabilidad didáctica para química y en la posibilidad de repetir procedimientos sin consumo de reactivos (Moore et al., 2014).

Los microexperimentos emplearon materiales de bajo riesgo y fácil acceso, como vinagre, bicarbonato de sodio, zumo de limón, jabón líquido, col morada como indicador natural, recipientes plásticos y papel indicador. Las guías incluyeron objetivo, hipótesis, procedimiento, registro de observaciones, preguntas de análisis y conclusión. Se trabajó con cantidades mínimas, supervisión docente y reglas explícitas de seguridad. Como apoyo se utilizaron formularios interactivos, videos explicativos y espacios de discusión colaborativa.

Instrumentos

El aprendizaje conceptual se evaluó mediante un pretest y un posttest de 25 ítems de opción múltiple y razonamiento químico. El instrumento fue revisado por expertos en didáctica de las ciencias y probado con estudiantes de características semejantes. La consistencia interna alcanzó un alfa de Cronbach de 0.87.

La percepción, motivación y satisfacción se recogieron mediante una escala tipo Likert. Las habilidades experimentales y la participación se registraron con rúbricas de desempeño y guías de observación. Los diarios reflexivos y las entrevistas semiestructuradas aportaron información sobre comprensión conceptual, relación teoría-práctica y autonomía. La combinación de instrumentos permitió contrastar las tendencias cuantitativas con evidencias de la experiencia de aprendizaje.

Procesamiento y análisis de datos

Los datos cuantitativos se procesaron en IBM SPSS Statistics versión 27. Se calcularon frecuencias, porcentajes, medias y desviaciones estándar. La normalidad se examinó con Shapiro-Wilk y la homogeneidad de varianzas con Levene. Para comparar pretest y posttest dentro de cada grupo se utilizó la prueba t de Student para muestras relacionadas; para la comparación entre grupos se empleó la prueba t para muestras independientes. El nivel de significación se estableció en $p < .05$.

La ganancia normalizada se estimó mediante la expresión $g = (\bar{X}_{\text{post}} - \bar{X}_{\text{pre}}) / (S_{\text{máx}} - \bar{X}_{\text{pre}})$, considerando una puntuación máxima de 10. Los datos cualitativos se analizaron mediante codificación abierta y agrupación temática. Finalmente, se integraron ambos componentes por convergencia, comparando los cambios de rendimiento con las categorías emergentes de las observaciones, entrevistas y diarios.

Consideraciones éticas

Se obtuvo autorización institucional, consentimiento informado de padres, madres o representantes legales y asentimiento voluntario de los estudiantes. La información fue tratada de forma confidencial y con fines exclusivamente académicos. La participación fue voluntaria y se garantizó el derecho a retirarse sin consecuencias académicas. Las actividades experimentales se desarrollaron bajo supervisión docente y con materiales de bajo riesgo.

RESULTADOS

Caracterización inicial y rendimiento académico

La muestra analizada estuvo conformada por 269 estudiantes: 134 en el grupo control y 135 en el grupo experimental. Antes de la intervención, las medias fueron prácticamente equivalentes: 5.28 en el grupo control y 5.31 en el experimental, con una diferencia de 0.03 puntos. Este patrón indica una condición inicial semejante en el rendimiento global sobre pH, neutralización, indicadores y comportamiento ácido-base.

Tabla 1

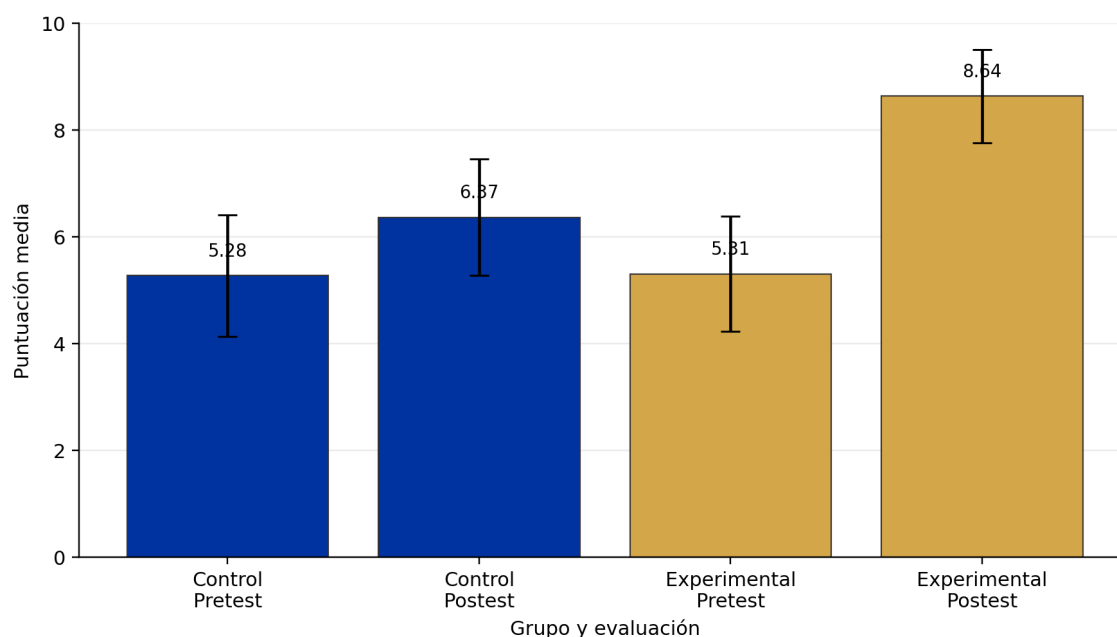
Estadísticos descriptivos del rendimiento académico en el pretest y posttest

Grupo	Evaluación	<i>n</i>	<i>M</i>	DE	Mín.	Máx.
Control	Pretest	134	5.28	1.14	3.00	7.00
Control	Posttest	134	6.37	1.09	4.00	8.00
Experimental	Pretest	135	5.31	1.08	3.00	7.00
Experimental	Posttest	135	8.64	0.87	7.00	10.00

Nota. *M* = media; *DE* = desviación estándar; *Mín.* = puntuación mínima; *Máx.* = puntuación máxima. Elaboración propia a partir de los datos del estudio.

Después de seis semanas, el grupo control alcanzó una media de 6.37 y el experimental de 8.64. El incremento absoluto fue de 1.09 puntos en el grupo control y de 3.33 puntos en el experimental. La diferencia entre grupos en el posttest fue de 2.27 puntos y el análisis reportado mostró significación estadística, $t(267) = 11.58$, $p < .001$. Además, la desviación estándar del grupo experimental disminuyó de 1.08 a 0.87, lo que evidencia una menor dispersión de las puntuaciones finales.

A partir de las medias reportadas, la ganancia normalizada fue $g = 0.23$ para el grupo control y $g = 0.71$ para el grupo experimental. Esta diferencia refuerza la interpretación de que la secuencia híbrida estuvo asociada con una mejora conceptual más amplia que la enseñanza convencional.

Figura 1**Comparación de medias del rendimiento académico antes y después de la intervención**

Nota. Las barras representan las medias de los grupos control y experimental en el pretest y posttest. Las líneas verticales indican la desviación estándar. Elaboración propia.

Hallazgos cualitativos

El análisis de las observaciones, entrevistas y diarios reflexivos identificó cuatro categorías principales. La comprensión conceptual concentró la mayor frecuencia, seguida por la motivación hacia la química, la relación teoría-práctica y el aprendizaje autónomo. La distribución completa se presenta en la Tabla 2.

Tabla 2**Categorías emergentes del análisis cualitativo y frecuencia de registros**

Categoría	Frecuencia	Porcentaje
Comprensión conceptual	102	37.9 %
Motivación hacia la química	71	26.4 %
Relación teoría-práctica	58	21.6 %
Aprendizaje autónomo	38	14.1 %
Total	269	100 %

Nota. La distribución resume las categorías predominantes identificadas en observaciones, entrevistas y diarios reflexivos de estudiantes de Bachillerato General Unificado. Elaboración propia.

Los registros asociados con comprensión conceptual describieron una mayor facilidad para interpretar cambios de pH, procesos de neutralización y comportamiento de indicadores. Los estudiantes señalaron que la representación de partículas en el simulador les permitió relacionar los cambios visibles de los microexperimentos con explicaciones submicroscópicas. Esta relación es consistente con la función de los laboratorios virtuales como apoyo para construir explicaciones científicas (Gnesdilow & Puntambekar, 2021; Reeves & Crippen, 2021).

En las categorías de motivación y relación teoría-práctica destacaron las actividades con indicador de color morada, vinagre, bicarbonato y sustancias domésticas. Los estudiantes participaron con mayor interés cuando podían anticipar el resultado en el simulador y luego contrastarlo mediante una experiencia observable. La categoría de aprendizaje autónomo reunió expresiones vinculadas con la repetición de la simulación, la revisión de guías y la formulación de explicaciones antes de la discusión grupal.

Integración de los resultados

La evidencia cuantitativa y cualitativa mostró un patrón convergente. El aumento del rendimiento del grupo experimental coincidió con registros de mayor comprensión, participación y conexión entre teoría y práctica. El grupo control también mejoró, pero su incremento fue menor y sus puntuaciones finales permanecieron por debajo de las del grupo experimental. Por tanto, los resultados respaldan la hipótesis de

trabajo sin establecer causalidad absoluta, debido al carácter cuasiexperimental y a la ausencia de asignación aleatoria individual.

DISCUSIÓN

Interpretación pedagógica de los hallazgos

Los resultados indican que la combinación de simuladores virtuales y microexperimentos domésticos favoreció el aprendizaje de las reacciones ácido-base. La mejora del grupo experimental puede interpretarse a partir de la articulación entre los niveles macroscópico, submicroscópico y simbólico: los estudiantes observaron cambios de color o efervescencia, visualizaron partículas e iones en el simulador y expresaron las relaciones mediante conceptos de pH y neutralización. Esta integración responde a uno de los principales desafíos señalados para la educación química (Cooper, 2018).

La magnitud de la mejora coincide con estudios que atribuyen a PhET ventajas para manipular variables, recibir retroalimentación inmediata y explorar fenómenos que no siempre pueden reproducirse en el laboratorio escolar (Moore et al., 2014; Salame & Makki, 2021; Alemneh et al., 2024). No obstante, los hallazgos también muestran que la simulación fue más útil cuando estuvo acompañada por preguntas, hipótesis, discusión y experimentación. Esta condición coincide con la literatura que favorece la combinación de laboratorios virtuales y prácticos frente al uso aislado de uno de ellos (Kapici et al., 2019; Papadimitropoulos et al., 2021).

Los microexperimentos contribuyeron a contextualizar el contenido y a reducir las barreras de acceso a la práctica. El empleo de pequeñas cantidades de sustancias domésticas permitió observar fenómenos relevantes con menor consumo de reactivos y bajo riesgo, en consonancia con la microescala y la química verde (Hidayah et al., 2022; Dicks, 2023). Los testimonios sobre motivación y autonomía sugieren, además, que la proximidad de los materiales facilitó la apropiación del conocimiento y la percepción de utilidad de la química.

Implicaciones para la infraestructura y la práctica docente

La propuesta es viable para instituciones con infraestructura experimental limitada, pero no elimina la necesidad de conectividad y soporte tecnológico. Los antecedentes ecuatorianos sobre requerimientos de red, impacto de las telecomunicaciones y utilización académica de entornos digitales muestran que el acceso y la planificación institucional condicionan la incorporación efectiva de TIC (Santillán Lima et al., 2016; Santillán-Lima et al., 2017a, 2017b). En consecuencia, la estrategia debe prever opciones de descarga, trabajo por parejas, horarios de acceso y materiales alternativos cuando la conectividad sea insuficiente.

La implementación también requiere criterios de gestión y seguridad. Aunque Santillán-Lima et al. (2021) estudiaron técnicas de seguridad en redes dentro de la custodia de evidencia digital, su énfasis en integridad y comunicación confiable es pertinente como precaución transversal para plataformas educativas que gestionan cuentas, respuestas y datos de estudiantes. Del mismo modo, la innovación depende de la capacidad docente para adaptarse, acompañar y sostener cambios metodológicos; los hallazgos de Heredia et al. (2024) sobre resiliencia en docentes universitarios aportan un referente institucional que debería investigarse específicamente en el profesorado de Bachillerato.

Por tanto, la adopción no debe reducirse a entregar un enlace al simulador. Se requiere capacitación docente, secuencias guiadas, normas de seguridad experimental, criterios de protección de datos y mecanismos para atender las desigualdades de acceso. La gestión de información y el diseño pedagógico deben avanzar de manera coordinada (Bernal & Guarda, 2020; Bernal Parraga et al., 2025).

Limitaciones y futuras líneas de investigación

La interpretación de los hallazgos debe considerar varias limitaciones. La muestra fue seleccionada por conveniencia y los grupos ya estaban conformados, por lo que pueden existir diferencias no controladas. La intervención tuvo una duración de seis semanas y no se evaluó la retención a largo plazo. Asimismo, la heterogeneidad en conectividad, experiencia digital y acompañamiento institucional pudo influir en el grado de interacción con los simuladores.

El componente cualitativo amplió la comprensión de la experiencia, pero las frecuencias de categorías no sustituyen una medición independiente de cada constructo. Estudios futuros deberían incorporar diseños longitudinales, medidas de fidelidad de implementación, análisis por institución y provincia, y variables como autoeficacia científica, pensamiento crítico, competencia digital y resiliencia docente. También sería pertinente comparar distintas secuencias: simulación antes del experimento, experimento antes de la simulación y uso combinado en una misma sesión.

CONCLUSIONES

La estrategia didáctica que integró simuladores virtuales y microexperimentos domésticos se asoció con una mejora superior del aprendizaje de las reacciones ácido–base en estudiantes de Bachillerato General Unificado. El grupo experimental partió de una media semejante a la del grupo control y alcanzó un rendimiento posttest claramente mayor, acompañado por una ganancia normalizada más alta.

La combinación permitió conectar observaciones macroscópicas con representaciones submicroscópicas y expresiones simbólicas. Los hallazgos cualitativos respaldaron esta interpretación al destacar comprensión conceptual, motivación, relación teoría–práctica y autonomía. En consecuencia, la hipótesis de trabajo fue respaldada dentro de los límites del diseño cuasiexperimental.

La propuesta constituye una alternativa accesible para contextos con disponibilidad limitada de laboratorio, siempre que se acompañe de mediación docente, reglas de seguridad, conectividad suficiente y opciones para estudiantes con menor acceso tecnológico. Su aplicación puede ampliarse a otros contenidos de química, pero requiere estudios longitudinales y diseños con mayor control para establecer la estabilidad y transferencia de los aprendizajes.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no existe conflicto de interés.

REFERENCIAS

- Acosta Porras, J. S., Moyon Sani, V. E., Arias Vega, G. Y., Vásquez Alejandro, L. M., Ruiz Cires, O. A., Albia Vélez, B. K., & Bernal Parraga, A. P. (2024). Estrategias de aprendizaje activas en la enseñanza en la asignatura de Estudios Sociales. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 8(5), 411–433. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i5.13320
- Alarcon Burneo, S. N., Basantes Guerra, J. P., Chaglla Lasluisa, W. F., Carvajal Coronado, D. E., Martínez Oviedo, M. Y., Vargas Saritama, M. E., & Bernal Parraga, A. P. (2024). Uso de recursos manipulativos para mejorar la comprensión de conceptos matemáticos abstractos en la educación secundaria. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 8(5), 1972–1988. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i5.13669
- Alemneh, E. D., Kidanemariam, D. A., Mengistie, S. M., & Beyene, B. B. (2024). Effect of computer simulation and animation-integrated instruction on pre-service science teacher trainees' conceptual understanding and retention of acid-base chemistry and stoichiometry. *Journal of Technology and Science Education*, 14(2), 453–472. <https://doi.org/10.3926/jotse.2435>
- Batamuliza, J., et al. (2024). Students' perceptions towards the use of computer simulations in science education. *Chemistry Teacher International*. <https://doi.org/10.1515/cti-2023-0064>
- Bernal Parraga, A. P., Constante Olmedo, D. F., López Sánchez, I. Y., Padilla Portocarrero, D. K., & Duarte Salinas, E. M. (2026). Ecosistema híbrido inteligente para la enseñanza de Ciencias Naturales: un modelo integrador de metodologías activas, IA y regulación emocional. *Tesla Revista Científica*, 6(1). <https://doi.org/10.55204/trc.v6i1.e588>
- Bernal Parraga, A., Alvarez Santos, A., & Mite Cisneros, M. (2025). Formación docente: enfoques pedagógicos innovadores para el fortalecimiento de competencias profesionales en el siglo XXI. *Varona*, 84. <http://revistas.ucpejv.edu.cu/index.php/rVar/article/view/2981>
- Bernal, A., & Guarda, T. (2020). La gestión de la información es factor determinante para elaborar estrategias innovadoras en política educativa pública. *Iberian Journal of Information Systems and Technologies*, (E27), 35–48. <https://core.ac.uk/download/pdf/487026121.pdf#page=35>
- Cooper, M. M. (2018). Chemistry education research—From personal empiricism to evidence, theory, and informed practice. *Chemical Reviews*, 118(12), 6053–6087. <https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.8b00020>
- Dicks, A. P. (2023). Teaching greener and more sustainable analytical chemistry. *Green Analytical Chemistry*, 5, 100082. <https://doi.org/10.1016/j.greeac.2023.100082>

- Dixit, S., Bhatia, V., Khanganba, S. P., & Agrawal, A. (2022). Digital divide and its current state. *Lecture Notes in Networks and Systems*, 416, 1–15. https://doi.org/10.1007/978-981-19-0339-7_1
- Gericke, N., Högström, P., & Wallin, J. (2022). A systematic review of research on laboratory work in secondary school. *Studies in Science Education*, 59(2), 245–285. <https://doi.org/10.1080/03057267.2022.2090125>
- Gnesdilow, D., & Puntambekar, S. (2021). Comparing middle school students' science explanations during physical and virtual laboratories. *Journal of Science Education and Technology*, 31(2), 191–202. <https://doi.org/10.1007/s10956-021-09941-0>
- Heredia, E. C., Granja, F. M., Guerrero, P. E. V., Lima, J. C. S., & Martínez, C. J. A. (2024). Resiliencia en docentes universitarios: estudio de caso en la Universidad Nacional de Chimborazo. *Universidad y Sociedad*, 16(6), 560–569.
- Hidayah, F. F., Imaduddin, M., Yuliyanto, E., Gunawan, G., Djunaidi, M. C., & Tantayanon, S. (2022). Teachers' and students' first experiences in small-scale chemistry practicum. *Journal of Technology and Science Education*, 12(1), 244–258. <https://doi.org/10.3926/jotse.1388>
- Jegstad, K. M., et al. (2024). Inquiry-based chemistry education: A systematic review. *Studies in Science Education*. <https://doi.org/10.1080/03057267.2023.2248436>
- Kapici, H. O., Akcay, H., & de Jong, T. (2019). Using hands-on and virtual laboratories alone or together—Which works better for acquiring knowledge and skills? *Journal of Science Education and Technology*, 28, 231–250. <https://doi.org/10.1007/s10956-018-9762-0>
- Kolil, V. K., Muthupalani, S., & Achuthan, K. (2020). Virtual experimental platforms in chemistry laboratory education and its impact on experimental self-efficacy. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 17(1), 1–22. <https://doi.org/10.1186/s41239-020-00204-3>
- Mardhiya, J., & Laila, F. N. (2022). *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 8(5). <https://doi.org/10.29303/jppipa.v8i5.2440>
- Moore, E. B., Herzog, T. A., & Perkins, K. K. (2014). PhET interactive simulations: Transformative tools for teaching chemistry. *Journal of Chemical Education*, 91(8), 1191–1197. <https://doi.org/10.1021/ed4005084>
- Ndagijimana, J. B., et al. (2025). *Chemistry Education Research and Practice*, 26, 289–299. <https://doi.org/10.1039/D4RP00105B>
- Palacios Ortega, A., Pascual López, V., & Moreno-Mediavilla, D. (2024). *Journal of Technology and Science Education*, 14(3), 701–719. <https://doi.org/10.3926/jotse.2357>
- Papadimitropoulos, N., Dalacosta, K., & Pavlatou, E. A. (2021). Teaching chemistry with Arduino experiments in a mixed virtual-physical learning environment. *Journal of Science Education and Technology*, 30(4), 550–566. <https://doi.org/10.1007/s10956-020-09899-5>
- Rahmawati, Y., Zulhipri, Hartanto, O., Falani, I., & Iriyadi, D. (2022). *Journal of Technology and Science Education*, 12(2), 303–326. <https://doi.org/10.3926/jotse.1597>
- Reeves, S. M., & Crippen, K. J. (2021). Virtual laboratories in undergraduate science and engineering courses: A systematic review, 2009–2019. *Journal of Science Education and Technology*, 30, 16–30. <https://doi.org/10.1007/s10956-020-09866-0>
- Salame, I. I., & Makki, J. (2021). Examining the use of PhET simulations on students' attitudes and learning in general chemistry II. *Interdisciplinary Journal of Environmental and Science Education*, 17(4), e2247. <https://doi.org/10.21601/ijese/10966>
- Santillán Lima, J. C., Llanga Vargas, A., Mayorga, W., & Valdiviezo, S. (2016). Evaluación del requerimiento tecnológico para servicios educativos: propuesta de infraestructura de red inalámbrica del Campus La Dolorosa de la Universidad Nacional de Chimborazo. En *II Congreso Internacional Educación Contemporánea, Calidad Educativa y Buen Vivir*.
- Santillán-Lima, J. C., Rocha-Jacome, C., Guerrero-Morejón, K., Llanga-Vargas, A., Vásquez-Barrera, F., & Molina-Granja, F. (2017a). El impacto de los servicios de telecomunicaciones y las TIC en las necesidades de la educación superior. En *IV Congreso Internacional de Ciencia, Tecnología, Innovación y Emprendimiento (CITE)*.
- Santillán-Lima, J., Molina, F., Rocha, C., Vásquez-Barrera, F., Guerrero, K., & Llanga-Vargas, A. (2017b). Las redes sociales como herramienta académica en las universidades del centro del país. *Revista Investigar*, 5.^a edición, ESPOCH.
- Santillán-Lima, J. C., Haro-Parra, P., Luna-Encalada, W., Lozada-Yáñez, R., & Molina-Granja, F. (2021, septiembre). Security techniques in communications networks applied to the custody of digital evidence. En *The International Conference on Advances in Emerging Trends and Technologies* (pp. 298–309). Springer International Publishing.