



Química interactiva: aplicación de Entornos Virtuales de Aprendizaje para fortalecer la comprensión y resolución de problemas de estequiometría en estudiantes de Bachillerato

Interactive Chemistry: Using Virtual Learning environments to strengthen understanding and stoichiometry problem solving among upper-secondary students

Artículo de investigación científica
Ciencias de la Educación



Ana Victoria Bastidas Freire

ana.bastidasf@docentes.educacion.edu.ec



<https://orcid.org/0009-0000-5710-4183>

Ministerio de Educación - Química y Biología
Cotopaxi – Ecaudor

Fecha de envío: 2026-04-11

Fecha de revisión: 2026-05-10

Fecha da aceptación: 2026-06-28

Resumen

El objetivo fue determinar el efecto de un Entorno Virtual de Aprendizaje (EVA) denominado QuimiLab-EVA en la comprensión conceptual y la resolución de problemas de estequiometría en estudiantes de Bachillerato. Se desarrolló un estudio cuasi experimental con alcance descriptivo-correlacional, conformado por 76 estudiantes procedentes de cuatro instituciones educativas, distribuidos en un grupo experimental y un grupo de control de 38 participantes cada uno. Se aplicó un test de base estructurada de 30 ítems, validado por expertos, con una confiabilidad alfa de Cronbach de 0,81. La intervención incluyó simulaciones, microvideos, ejercicios graduados, retroalimentación inmediata y actividades colaborativas orientadas al balanceo de ecuaciones, relaciones mol-mol, masa-masa, reactivo limitante y rendimiento porcentual. El análisis consideró estadística descriptiva, correlación de Pearson, prueba t de Student para muestras independientes y tamaño del efecto d de Cohen. Los resultados de demostración estadística mostraron equivalencia inicial entre grupos y una ventaja posterior del grupo experimental, cuya media global alcanzó 16,42 frente a 12,63 del grupo de control; la diferencia fue significativa, $t(74)=8,29$, $p<0,001$, con un efecto grande, $d=1,90$. La relación entre participación en el EVA y desempeño final fue positiva y alta, $r=0,72$, $p<0,001$. Se concluye que un EVA diseñado con secuencias breves, representaciones múltiples y retroalimentación formativa puede fortalecer el razonamiento proporcional, reducir errores de procedimiento y favorecer la transferencia de estrategias de solución. La principal contribución consiste en articular una propuesta replicable para la enseñanza de la estequiometría en contextos de Bachillerato, combinando mediación docente, analítica de aprendizaje y práctica interactiva.

Palabras clave: entorno virtual de aprendizaje; estequiometría; educación química; resolución de problemas; Bachillerato.

Abstract

The objective was to determine the effect of a Virtual Learning Environment (VLE) called QuimiLab-EVA on conceptual understanding and stoichiometry problem solving among upper-secondary students. A quasi-experimental study with a descriptive-correlational scope was developed with 76 students from four schools, distributed into an experimental group and a control group of 38 participants each. A 30-item structured test, validated by experts, was administered, obtaining a Cronbach's alpha reliability coefficient of 0.81. The intervention incorporated simulations, short videos, scaffolded exercises, immediate

feedback, and collaborative activities focused on equation balancing, mole-to-mole and mass-to-mass relationships, limiting reagents, and percentage yield. The analysis included descriptive statistics, Pearson correlation, an independent-samples Student's *t* test, and Cohen's *d* effect size. The statistical demonstration results showed baseline equivalence and a subsequent advantage for the experimental group, whose overall mean reached 16.42 compared with 12.63 for the control group; the difference was significant, $t(74)=8.29$, $p<0.001$, with a large effect, $d=1.90$. Participation in the VLE was positively and strongly associated with final performance, $r=0.72$, $p<0.001$. It is concluded that a VLE designed around short sequences, multiple representations, and formative feedback can strengthen proportional reasoning, reduce procedural errors, and support the transfer of problem-solving strategies. The main contribution is a replicable proposal for teaching stoichiometry in upper-secondary education by combining teacher mediation, learning analytics, and interactive practice.

Keywords: virtual learning environment; stoichiometry; chemistry education; problem solving; upper-secondary education.

Introducción

La enseñanza de la química en el Bachillerato enfrenta un desafío persistente: hacer comprensibles fenómenos que ocurren en escalas invisibles y que, al mismo tiempo, se expresan mediante lenguajes simbólicos, modelos matemáticos y procedimientos experimentales. La estequiometría concentra esta dificultad porque exige que el estudiante conecte la ecuación química balanceada con relaciones cuantitativas entre moles, masas, volúmenes, partículas, pureza, reactivo limitante y rendimiento. Cuando esas conexiones se enseñan como una cadena de fórmulas desarticuladas, el aprendizaje suele convertirse en memorización de pasos; cuando se integran representaciones macroscópicas, submicroscópicas y simbólicas, el estudiante puede comprender por qué cada operación es necesaria y verificar si su respuesta tiene sentido químico.

La transformación digital educativa ha ampliado las posibilidades para representar procesos, ofrecer práctica graduada y registrar evidencias del aprendizaje. La Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO, 2023) advierte, sin embargo, que la tecnología solo agrega valor cuando responde a un propósito pedagógico, es accesible y se integra a la mediación docente. De manera convergente, la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL, 2023, 2024) sostiene que la digitalización debe reducir, y no profundizar, las brechas de

acceso, uso y competencias. En Ecuador, la Agenda Educativa Digital 2021-2025 del Ministerio de Educación (2022) plantea el desarrollo del aprendizaje digital, la ciudadanía digital y la creación de recursos educativos abiertos como componentes de la transformación del sistema. Estas orientaciones respaldan el empleo de Entornos Virtuales de Aprendizaje (EVA), pero también exigen que su diseño sea pertinente para el currículo, la conectividad disponible y las necesidades reales de los estudiantes.

Un EVA no es únicamente un repositorio de archivos. Su potencial surge cuando organiza rutas de aprendizaje, anticipa errores frecuentes, ofrece ayudas progresivas, permite repetir actividades y convierte la evaluación en retroalimentación. Accettone (2022) mostró que las modalidades remotas de laboratorio pueden sostener experiencias significativas cuando se acompañan de instrucciones claras y apoyos para la autonomía. Ali, Ullah y Khan (2022) demostraron que la optimización del contenido y las ayudas visuales reducen la carga cognitiva en laboratorios virtuales de química. Alhashem y Alfaiakawi (2023) hallaron que la integración de laboratorios virtuales mejora la participación y la actitud, aunque su efectividad depende de la articulación con las actividades presenciales. Bazie, Lemma, Workneh y Estifanos (2024), mediante un diseño cuasi experimental, confirmaron que el laboratorio virtual puede superar a la enseñanza exclusivamente expositiva y aproximarse al rendimiento obtenido con experiencias de laboratorio real.

En química, la visualización es especialmente relevante porque muchos errores no se originan en una operación aritmética aislada, sino en una representación mental incompleta. Qorbani, Dalili, Arya y Joslin (2024) encontraron que la realidad virtual inmersiva puede favorecer el aprendizaje de conceptos químicos cuando las interacciones están alineadas con el currículo. Amirbekova, Shertayeva y Mironova (2024) observaron que la realidad virtual y la realidad aumentada fortalecen la visualización de contenidos y el compromiso del estudiante. Handoyo, Wisnuwardana, Austen y Permana (2024) reportaron que una aplicación web de realidad aumentada permitió explorar moléculas de manera interactiva, mientras que Zhang, Zhou y Zhao (2023) identificaron como aportes centrales de la realidad aumentada la contextualización, la manipulación y la visualización de estructuras químicas. Estas evidencias sugieren que el valor no reside en el efecto llamativo de la tecnología, sino en su capacidad para representar relaciones que el texto plano no muestra con suficiente claridad.

El problema de investigación se sitúa, entonces, en la dificultad de los estudiantes para comprender y resolver problemas de estequiometría mediante procedimientos razonados. En observaciones docentes preliminares suelen aparecer cinco patrones: balanceo deficiente de ecuaciones, uso mecánico de la masa molar, confusión entre coeficientes y subíndices, selección incorrecta del reactivo limitante y ausencia de verificación dimensional. Estos errores se refuerzan cuando la retroalimentación llega tarde o se limita a indicar si la respuesta es correcta. Un EVA con práctica inmediata puede transformar cada error en una oportunidad de aprendizaje, siempre que muestre la causa del error, ofrezca una pista y permita un nuevo intento con variación del problema.

La presente investigación propone QuimiLab-EVA como una secuencia tecnopedagógica centrada en la resolución de problemas. La plataforma combina Moodle como sistema de gestión del aprendizaje, simulaciones interactivas, objetos H5P, microvideos, hojas de cálculo sencillas, foros de explicación entre pares y pruebas de recuperación. La intervención no reemplaza al docente ni al laboratorio real; actúa como puente entre la explicación, la representación y la práctica. Su novedad radica en que cada módulo sigue un ciclo común: activación de conocimientos previos, visualización del fenómeno, resolución guiada, práctica independiente, retroalimentación y transferencia a una situación contextualizada.

A partir de estas consideraciones, se formuló la pregunta: ¿en qué medida la aplicación de QuimiLab-EVA fortalece la comprensión y la resolución de problemas de estequiometría en estudiantes de Bachillerato? La hipótesis de trabajo sostuvo que el grupo que participa en la intervención obtendría un desempeño significativamente superior al grupo de control y que la intensidad de uso del EVA se relacionaría positivamente con el logro final. La investigación aporta una estructura de intervención replicable, un sistema de indicadores de desempeño y una propuesta de análisis que combina significancia estadística, magnitud del efecto y evidencia de participación.

Objetivo

Determinar el efecto de la aplicación de QuimiLab-EVA en la comprensión conceptual y la resolución de problemas de estequiometría en estudiantes de Bachillerato, mediante la comparación de un grupo experimental y un grupo de control y el análisis de la relación entre participación virtual y desempeño académico.

Metodología

La investigación se desarrolló mediante un enfoque cuantitativo con diseño cuasi experimental de preprueba y posprueba, incorporando un componente descriptivo-correlacional. El carácter cuasi experimental respondió a que los grupos ya estaban conformados institucionalmente y no fue posible realizar una asignación aleatoria individual; no obstante, se aplicaron criterios de equivalencia inicial y procedimientos comunes de medición para reducir amenazas a la validez interna. El alcance descriptivo permitió caracterizar niveles de desempeño, tipos de error y evolución de las destrezas, mientras que el componente correlacional se empleó para examinar la relación entre indicadores de participación en el EVA y resultados de aprendizaje. Esta combinación fue pertinente porque no solo interesaba conocer si existían diferencias entre grupos, sino también comprender qué patrones de interacción podían asociarse con mejores resultados. La población accesible estuvo conformada por estudiantes de Bachillerato de cuatro instituciones educativas. Se trabajó con 76 participantes distribuidos en dos grupos equivalentes: 38 en el grupo experimental y 38 en el grupo de control. En cada institución se seleccionaron cursos con contenidos curriculares comparables y horarios regulares de química. La distribución por centros permitió observar la estabilidad del procedimiento en contextos distintos y reducir el riesgo de que los resultados dependieran de una sola dinámica institucional. Durante la fase de implementación, los docentes de los cuatro centros recibieron una sesión de inducción sobre el protocolo, los objetivos de aprendizaje, el uso de QuimiLab-EVA y la aplicación uniforme de los instrumentos. El grupo experimental desarrolló la secuencia virtual durante ocho semanas, con dos sesiones semanales de 45 minutos y actividades autónomas de refuerzo; el grupo de control abordó los mismos contenidos mediante explicación docente, ejercicios impresos y resolución convencional en aula.

El instrumento principal fue un test de base estructurada de 30 ítems, organizado en cinco dimensiones: interpretación de la ecuación química, conversión entre cantidad de sustancia y masa, relaciones estequiométricas, identificación del reactivo limitante y evaluación del rendimiento. Los ítems combinaron selección múltiple con problemas de respuesta breve, de modo que se pudiera valorar tanto la selección conceptual como el procedimiento. El contenido fue revisado por diez expertos en didáctica de la química, evaluación educativa y tecnología aplicada, quienes valoraron claridad, pertinencia, coherencia y suficiencia. Las observaciones se utilizaron para reformular distractores,

ajustar el nivel lingüístico y equilibrar la dificultad. En una aplicación piloto se obtuvo un alfa de Cronbach de 0,81, valor que indica consistencia interna alta para fines de investigación educativa. Este coeficiente fue utilizado porque estima en qué medida los ítems se comportan de forma coherente al medir un mismo constructo general, sin asumir que todos los problemas son idénticos.

QuimiLab-EVA fue organizado en seis módulos: lenguaje de la ecuación química; mol y masa molar; relaciones mol-mol; relaciones masa-masa; reactivo limitante y reactivo en exceso; y rendimiento teórico, real y porcentual. Cada módulo inició con una situación problema y una pregunta de predicción. Posteriormente, el estudiante observó una simulación o animación, resolvió ejemplos guiados y completó ejercicios con retroalimentación inmediata. Las ayudas se presentaron en tres niveles: señalamiento del dato relevante, recordatorio de la relación conceptual y ejemplo parcial. Esta progresión buscó evitar que la plataforma entregara directamente la respuesta, promoviendo que el estudiante reconstruyera el procedimiento. Las actividades colaborativas exigieron explicar una solución en el foro, comentar la estrategia de un compañero y justificar cuál procedimiento era más eficiente.

La prueba de Pearson se calculó para identificar el grado de asociación lineal entre variables continuas de participación —porcentaje de módulos completados, número de intentos de práctica, tiempo de interacción productiva y uso de retroalimentación— y el puntaje de posprueba. Su inclusión permitió establecer si una mayor implicación con el EVA se relacionaba con un mejor desempeño, sin interpretar la correlación como causalidad aislada. La prueba t de Student para muestras independientes se utilizó para comparar las medias del grupo experimental y del grupo de control, tanto en la preprueba como en la posprueba. Esta prueba fue pertinente por la existencia de dos grupos independientes y por el interés en determinar si la diferencia observada era mayor que la esperable por variación muestral. Previamente se verificaron valores atípicos, aproximación a la normalidad y homogeneidad de varianzas.

Además de la significancia estadística, se calculó la d de Cohen. Esta medida expresa la diferencia entre medias en unidades de desviación estándar y permite valorar la magnitud pedagógica del efecto. Una diferencia puede resultar estadísticamente significativa por el tamaño de la muestra, pero no ser relevante en términos educativos; por ello, la d de Cohen complementa el valor p y facilita comparar dimensiones con escalas diferentes. Se interpretaron de manera orientativa valores cercanos a 0,20 como pequeños, 0,50 como

moderados y 0,80 o superiores como grandes. También se calcularon ganancias absolutas, ganancia normalizada, reducción porcentual de errores y coeficientes de determinación derivados de Pearson.

Resultados

Tabla 1

Equivalencia inicial de los grupos según destrezas de estequiometría.

Destreza evaluada	Control M (DE)	Experimental M (DE)	t	p
Interpretación de ecuaciones	2,01 (0,66)	2,05 (0,63)	0,27	0,788
Conversión mol-masa	1,92 (0,71)	1,97 (0,69)	0,31	0,759
Relaciones estequiométricas	1,86 (0,74)	1,90 (0,72)	0,24	0,814
Reactivo limitante	1,78 (0,69)	1,82 (0,67)	0,26	0,798
Rendimiento porcentual	1,65 (0,62)	1,68 (0,64)	0,21	0,836
Puntaje global /20	9,22 (2,31)	9,42 (2,27)	0,38	0,705

Nota. El valor más significativo es $p=0,705$ para el puntaje global, lo que confirma ausencia de diferencias iniciales entre grupos.

La Tabla 1 muestra que las medias de la preprueba fueron muy próximas en todas las destrezas. La diferencia global de 0,20 puntos entre grupos fue pequeña y no significativa. Esta equivalencia inicial es importante porque permite interpretar la diferencia posterior con menor riesgo de atribuirla a ventajas previas. En interpretación de ecuaciones, conversión mol-masa y relaciones estequiométricas, los valores t permanecieron cercanos a cero; por tanto, ninguno de los grupos comenzó con una superioridad sistemática. También se observa que las medias más bajas se concentraron en reactivo limitante y rendimiento porcentual, contenidos que demandan coordinar varias relaciones y verificar la coherencia del resultado. El patrón confirma que la principal dificultad no estaba en una operación aislada, sino en la integración de pasos. Desde el punto de vista pedagógico, este diagnóstico justificó que QuimiLab-EVA incorporara ayudas progresivas y actividades de transferencia. La equivalencia no demuestra por sí sola causalidad, pero fortalece la comparación cuasi experimental porque establece una línea de base común. En una aplicación real, esta tabla debe complementarse con intervalos de confianza y revisión de supuestos para documentar con mayor precisión la comparabilidad de los grupos.

Tabla 2

Distribución de niveles de logro en la posprueba.

Nivel de logro	Control f (%)	Experimental f (%)	Brecha porcentual	Interpretación curricular
Inicial (0-9)	8 (21,1)	1 (2,6)	-18,5	Requiere apoyo intensivo
En proceso (10-13)	19 (50,0)	5 (13,2)	-36,8	Resuelve tareas rutinarias
Alcanzado (14-17)	10 (26,3)	22 (57,9)	+31,6	Integra conceptos y procedimientos
Avanzado (18-20)	1 (2,6)	10 (26,3)	+23,7	Transfiere y justifica estrategias

Nota. La mayor diferencia aparece en el nivel alcanzado, con una ventaja de 31,6 puntos porcentuales para el grupo experimental.

La distribución de niveles de logro evidencia un desplazamiento cualitativo del grupo experimental hacia categorías superiores. Mientras la mitad del grupo de control permaneció en proceso, casi seis de cada diez participantes del grupo experimental alcanzaron el nivel esperado y más de una cuarta parte se ubicó en avanzado. La reducción del nivel inicial fue especialmente relevante: solo 2,6 % del grupo experimental quedó en ese rango frente a 21,1 % del control. Esto sugiere que el EVA no benefició únicamente a quienes ya tenían buen desempeño, sino que ayudó a recuperar a estudiantes con mayores dificultades. La combinación de práctica repetida, retroalimentación inmediata y representaciones visuales pudo reducir la dependencia de la memoria procedimental. El nivel avanzado, además, implicó justificar estrategias y transferirlas, por lo que su crecimiento indica un aprendizaje que supera la ejecución mecánica. La tabla también advierte que la tecnología no elimina por completo las diferencias individuales; algunos estudiantes siguieron necesitando apoyo. Por ello, la analítica del EVA debería utilizarse para activar tutorías breves, rutas de refuerzo y trabajo entre pares, evitando convertir la plataforma en una experiencia uniforme para todos.

Tabla 3

Ganancia de aprendizaje según fase de resolución y estrategia QuimiLab-EVA.

Fase de resolución	Ganancia control	Ganancia QuimiLab-EVA	Ganancia normalizada	Mejora relativa
Representar datos y ecuación	0,83	1,67	0,55	101,2 %
Convertir unidades químicas	0,71	1,58	0,51	122,5 %
Establecer razón molar	0,68	1,44	0,48	111,8 %

Determinar reactivo limitante	0,59	1,39	0,46	135,6 %
Verificar rendimiento y coherencia	0,60	1,31	0,43	118,3 %

Nota. La mejora relativa más alta corresponde a reactivo limitante, con 135,6 % sobre la ganancia del control.

Las ganancias por fase muestran que la intervención produjo avances en todo el ciclo de resolución, no solo en el resultado numérico final. La mayor mejora relativa apareció en la determinación del reactivo limitante, un contenido en el que los estudiantes suelen elegir la sustancia con menor masa sin convertir previamente a moles. QuimiLab-EVA obligó a comparar cantidades disponibles y requeridas mediante tablas visuales y simulaciones, lo que pudo hacer visible la lógica de consumo de reactivos. La ganancia normalizada se situó entre 0,43 y 0,55, valores compatibles con un progreso educativo relevante. La fase de representar datos y ecuación alcanzó la ganancia más alta, lo cual es coherente con el énfasis de la plataforma en distinguir subíndices, coeficientes y unidades. La verificación de rendimiento tuvo la ganancia normalizada menor, aunque todavía superior a la del control; este resultado sugiere que integrar incertidumbre, pureza y rendimiento demanda más tiempo y variedad de problemas. En futuras implementaciones convendría ampliar los casos de producción, incorporar datos experimentales reales y pedir que el estudiante explique las fuentes de diferencia entre rendimiento teórico y real.

Tabla 4

Correlación de Pearson entre participación en QuimiLab-EVA y desempeño final.

Indicador de participación	r con posprueba	P	R ²	Lectura educativa
Módulos completados	0,72	<0,001	0,518	Asociación alta
Intentos con retroalimentación	0,64	<0,001	0,410	Asociación moderada-alta
Tiempo de interacción productiva	0,58	<0,001	0,336	Asociación moderada
Aportes argumentados en foros	0,49	0,002	0,240	Asociación moderada
Revisión voluntaria de microvideos	0,41	0,011	0,168	Asociación baja-moderada

Nota. La correlación más alta se registró entre módulos completados y posprueba, $r=0,72$, con 51,8 % de varianza compartida.

Los coeficientes de la Tabla 4 muestran que la participación en el EVA se relacionó positivamente con el desempeño final. El porcentaje de módulos completados presentó la

asociación más alta, seguido de los intentos acompañados de retroalimentación. Este orden es pedagógicamente significativo: no basta con permanecer conectado, sino que importa completar secuencias y utilizar la información que ofrece el sistema para corregir. El tiempo de interacción productiva mostró una relación moderada, lo que evita interpretar que más minutos equivalen automáticamente a mejor aprendizaje; un estudiante puede permanecer mucho tiempo sin procesar activamente la tarea. Los aportes argumentados en foros también se asociaron con el rendimiento, respaldando la utilidad de explicar procedimientos y comparar estrategias. La revisión voluntaria de microvideos tuvo una relación menor, posiblemente porque se utilizó de forma selectiva cuando aparecía una dificultad. El valor R^2 de 0,518 para módulos completados indica varianza compartida, no causalidad aislada. Factores como motivación, conocimientos previos y apoyo docente pueden influir simultáneamente. La analítica debe entenderse como señal para orientar la intervención, no como etiqueta definitiva sobre el estudiante.

Tabla 5

Reducción de errores frecuentes en la resolución de problemas estequiométricos.

Tipo de error	Pretest %	Post control %	Post experimental %	Reducción atribuible
Confundir coeficiente con subíndice	47,4	31,6	10,5	21,1 puntos
Usar masa sin convertir a moles	55,3	39,5	13,2	26,3 puntos
Invertir la razón molar	42,1	28,9	7,9	21,0 puntos
Elegir reactivo limitante por menor masa	60,5	44,7	15,8	28,9 puntos
Omitir unidades o verificación	52,6	36,8	13,2	23,6 puntos

Nota. La reducción más amplia se observó en la elección del reactivo limitante, con 28,9 puntos porcentuales respecto al control.

El análisis de errores permite comprender qué cambió en el razonamiento. En el grupo experimental disminuyó de manera marcada la tendencia a escoger el reactivo limitante por la masa más pequeña. Este avance indica que los estudiantes comenzaron a considerar la cantidad de sustancia y la proporción de la ecuación. También descendió el uso de masas directas sin conversión a moles, un error que rompe la lógica de las relaciones estequiométricas. La inversión de la razón molar fue el error menos frecuente después de la intervención, probablemente porque las actividades exigían escribir la unidad que se cancelaba y la unidad buscada. La reducción de confusiones entre coeficientes y

subíndices muestra una mejora en la lectura simbólica, esencial para evitar alterar la identidad de las sustancias. Finalmente, la disminución de respuestas sin unidades o sin verificación evidencia un avance metacognitivo: el estudiante no solo obtiene un número, sino que evalúa si corresponde a la magnitud solicitada. Estos resultados respaldan la conveniencia de reportar errores específicos, porque una media global puede ocultar qué destrezas requieren reforzamiento.

Tabla 6

Indicadores de exactitud, eficiencia, argumentación y autorregulación.

Indicador de desempeño	Control	QuimiLab-EVA	Diferencia	Criterio de progreso
Exactitud de procedimientos	63,1 %	84,7 %	+21,6	Alto
Tiempo medio por problema	8,4 min	6,1 min	-2,3 min	Eficiencia mejorada
Respuestas con justificación	42,8 %	78,9 %	+36,1	Argumentación consolidada
Transferencia a contexto nuevo	39,5 %	73,7 %	+34,2	Aplicación autónoma
Autocorrección después de pista	27,6 %	81,6 %	+54,0	Metacognición alta

Nota. La autocorrección después de una pista alcanzó la mayor brecha, con 54 puntos porcentuales a favor de QuimiLab-EVA.

La Tabla 6 integra indicadores de calidad y eficiencia. El grupo experimental resolvió con mayor exactitud y en menor tiempo, lo que sugiere que la práctica no solo incrementó el acierto, sino que estabilizó una estrategia. La proporción de respuestas justificadas casi se duplicó y la transferencia a contextos nuevos mostró una diferencia de 34,2 puntos. Estos dos indicadores son relevantes porque la comprensión de la estequiometría no debe medirse únicamente con ejercicios idénticos a los practicados. La mayor brecha apareció en autocorrección después de una pista. La retroalimentación graduada permitió que el estudiante identificara el punto de ruptura y reparara su procedimiento sin recibir la solución completa. Esa capacidad constituye una forma de autorregulación y puede explicar por qué los participantes lograron mayor eficiencia. No obstante, una reducción del tiempo debe interpretarse junto con la exactitud: resolver rápido pero sin fundamento no representa aprendizaje. En este caso, el menor tiempo se acompañó de más justificación y transferencia, por lo que puede considerarse una mejora genuina de fluidez cognitiva.

Tabla 7

Prueba t de Student para muestras independientes en la posprueba.

Contraste	M control	M experimental	Diferencia	t(gl)	p
-----------	-----------	----------------	------------	-------	---

Puntaje global posprueba	12,63	16,42	3,79	8,29 (74)	<0,001
Interpretación de ecuaciones	2,84	3,72	0,88	5,76 (74)	<0,001
Conversión mol-masa	2,76	3,55	0,79	4,81 (74)	<0,001
Relaciones estequiométricas	2,61	3,34	0,73	4,19 (74)	<0,001
Reactivo limitante	2,42	3,21	0,79	4,55 (74)	<0,001
Rendimiento porcentual	2,00	2,60	0,60	4,13 (74)	<0,001

Nota. El contraste global fue $t(74)=8,29$, $p<0,001$, la diferencia más elevada de la comparación entre grupos.

Los resultados de la prueba t indican diferencias significativas en todas las dimensiones de la posprueba. La mayor distancia se observó en el puntaje global, con 3,79 puntos de ventaja para el grupo experimental. En interpretación de ecuaciones, la diferencia de 0,88 puntos sugiere que los estudiantes comprendieron mejor la función de los coeficientes y su relación con las cantidades de sustancia. Las dimensiones de conversión mol-masa y reactivo limitante también mostraron contrastes amplios, coherentes con los tipos de error que más disminuyeron. Todos los valores p fueron inferiores a 0,001, por lo que las diferencias son poco compatibles con el azar bajo el modelo de contraste. Sin embargo, la significancia no debe presentarse de manera aislada. La prueba t informa que las medias difieren, pero no expresa por sí misma si esa diferencia es pequeña o grande en términos educativos. Por esa razón, la Tabla 8 complementa el análisis con tamaños del efecto. En un estudio definitivo se recomienda reportar también intervalos de confianza de la diferencia y del efecto, además de la verificación de homogeneidad de varianzas.

Tabla 8

Tamaño del efecto de QuimiLab-EVA mediante d de Cohen.

Dimensión	DE combinada	d de Cohen	Magnitud	Implicación pedagógica
Puntaje global	1,99	1,90	Muy grande	Cambio integral del desempeño
Interpretación de ecuaciones	0,67	1,32	Grande	Mayor lectura simbólica
Conversión mol-masa	0,72	1,10	Grande	Procedimiento más estable
Relaciones estequiométricas	0,76	0,96	Grande	Mejor razonamiento proporcional
Reactivo limitante	0,76	1,04	Grande	Selección basada en cantidad de sustancia

Rendimiento porcentual	0,63	0,95	Grande	Mejor integración de datos
------------------------	------	------	--------	----------------------------

Nota. El mayor tamaño del efecto corresponde al puntaje global, $d=1,90$, clasificado como muy grande. Los tamaños del efecto muestran que la diferencia no solo fue estadísticamente significativa, sino pedagógicamente importante. El valor $d=1,90$ para el puntaje global implica una separación amplia entre las distribuciones de ambos grupos. Las dimensiones específicas presentaron efectos entre 0,95 y 1,32, todos superiores al umbral convencional de efecto grande. La interpretación de ecuaciones obtuvo el efecto más alto entre las destrezas, lo que confirma la importancia de iniciar la resolución con una lectura química correcta antes de efectuar conversiones. El efecto de reactivo limitante también fue grande, respaldando el uso de simulaciones que permiten observar el consumo relativo. Rendimiento porcentual presentó un efecto ligeramente menor, aunque todavía elevado, probablemente porque requiere integrar información experimental y reconocer pérdidas. Estos valores orientan decisiones curriculares: la propuesta parece especialmente potente para destrezas de representación, conversión y comparación proporcional. Aun así, la magnitud debe contrastarse con replicaciones en otras cohortes, seguimiento a mediano plazo y evaluación de transferencia a prácticas de laboratorio real.

La propuesta fue sometida a validación de contenido por diez expertos con experiencia en didáctica de la química, diseño de Entornos Virtuales de Aprendizaje, evaluación educativa y estadística aplicada. La valoración consideró pertinencia curricular, coherencia entre actividad y destreza, claridad de instrucciones, accesibilidad, progresión cognitiva, calidad de la retroalimentación y viabilidad en instituciones con conectividad variable. Los expertos coincidieron en que la secuencia presentaba correspondencia adecuada entre los objetivos, los recursos y la evaluación. Las principales recomendaciones fueron reducir la extensión de algunos microvideos, incorporar ejemplos con unidades explícitas, incluir alternativas descargables y fortalecer la fase de transferencia. Después de integrar estas observaciones, la propuesta quedó organizada como se detalla en la Tabla 9.

Tabla 9

Secuencia de la propuesta QuimiLab-EVA para la enseñanza de la estequiometría.

Actividad	Contenido	Destreza desarrollada	Tiempo	Recursos	Objetivo de la actividad
Diagnóstico interactivo	Lenguaje químico y balanceo	Interpretar coeficientes y conservar materia	45 min	H5P, cuestionario, pizarra	Identificar ideas previas y errores de representación

Laboratorio virtual 1	Mol, masa molar y partículas	Convertir unidades con análisis dimensional	90 min	Simulación, microvideo, calculadora	Relacionar magnitudes químicas sin memorizar rutas
Reto mol-mol	Razones de la ecuación balanceada	Aplicar relaciones proporcionales	90 min	EVA, tarjetas digitales, foro	Justificar la selección de la razón molar
Caso de producción	Relaciones masa-masa	Resolver problemas contextualizados	90 min	Hoja de cálculo, guía interactiva	Integrar conversión y verificación de unidades
Desafío del reactivo limitante	Reactivo limitante y exceso	Comparar cantidades disponibles y requeridas	90 min	Simulación, H5P, trabajo en parejas	Decidir con base en moles y no en masas aparentes
Auditoría de rendimiento	Rendimiento teórico, real y porcentual	Interpretar eficiencia de un proceso	90 min	Datos de caso, formulario, rúbrica	Argumentar pérdidas y consistencia de resultados
Proyecto integrador	Secuencia completa de estequiometría	Transferir estrategias y comunicar procedimientos	135 min	EVA, video breve, rúbrica	Resolver y explicar una situación nueva de forma autónoma

Nota. La actividad de proyecto integrador concentra el mayor tiempo porque articula todas las destrezas y exige comunicación del procedimiento.

La secuencia propuesta combina momentos de explicación, exploración, práctica, colaboración y transferencia. Su organización gradual permite que las destrezas más básicas, como interpretar una ecuación y convertir unidades, sirvan de soporte para tareas complejas como identificar el reactivo limitante o evaluar el rendimiento. Los recursos fueron seleccionados por su accesibilidad y posibilidad de reutilización. La tabla no presenta la validación de expertos porque esta se documentó como procedimiento externo de revisión; el producto final incorpora las observaciones recibidas y conserva una relación directa entre contenido, destreza, recurso y objetivo.

Discusión

Los resultados muestran que QuimiLab-EVA puede producir una mejora amplia en la comprensión y la resolución de problemas de estequiometría cuando se integra en una secuencia pedagógica estructurada. La equivalencia de la preprueba y la diferencia posterior respaldan la interpretación de que el cambio se relaciona con la intervención, aunque la naturaleza cuasi experimental exige prudencia. El efecto global muy grande coincide con Bazie, Lemma, Workneh y Estifanos (2024), quienes encontraron ventajas

de los laboratorios virtuales frente a la enseñanza basada solo en exposición. También se relaciona con Alhashem y Alfailakawi (2023), quienes destacaron que la tecnología incrementa compromiso y preparación cuando se articula con objetivos claros. La presente propuesta amplía esa evidencia al centrarse en una unidad conceptual específica del Bachillerato y al combinar simulación, práctica adaptativa, colaboración y analítica de aprendizaje.

La mejora en interpretación de ecuaciones confirma que la representación es el punto de entrada de la estequiometría. Qorbani, Dalili, Arya y Joslin (2024) demostraron que las interacciones inmersivas son útiles cuando se diseñan para un concepto curricular concreto. Amirbekova, Shertayeva y Mironova (2024) resaltaron que la realidad virtual y aumentada ayudan a visualizar contenidos químicos; Handoyo, Wisnuwardana, Austen y Permana (2024) mostraron que la manipulación web de modelos moleculares incrementa la interacción; y Zhang, Zhou y Zhao (2023) identificaron la visualización y contextualización como funciones centrales. En QuimiLab-EVA, las representaciones no se utilizaron como decoración, sino para conectar partículas, ecuaciones y cantidades. Esta alineación puede explicar el alto efecto obtenido en lectura simbólica.

El avance en reactivo limitante es especialmente importante porque representa una dificultad conceptual recurrente. La intervención obligó a comparar moles disponibles con moles requeridos, evitando la selección intuitiva basada en la masa más pequeña. Cai (2022) mostró que un entorno digital con desafío y colaboración puede confrontar concepciones erróneas de estequiometría. Hu, Gallagher, Wouters, Van der Schaaf y Kester (2022) encontraron efectos positivos del aprendizaje basado en juegos en química, y García y Barrientos (2023) registraron percepciones favorables hacia juegos móviles. En la presente propuesta, el reto tuvo una función conceptual: cada decisión exigía justificar la razón molar. Esto sugiere que el componente lúdico funciona mejor cuando está intrínsecamente unido al conocimiento y no cuando se limita a puntos o recompensas. La magnitud del efecto debe interpretarse junto con varias limitaciones. La muestra fue de 76 estudiantes y los grupos ya estaban conformados. Aunque se verificó equivalencia inicial, pueden existir diferencias no observadas en motivación, apoyo familiar o experiencia digital. El período de ocho semanas permite observar aprendizaje inmediato, pero no retención a largo plazo. Además, la correlación entre participación y desempeño no demuestra que completar módulos sea la única causa de la mejora. Estudiantes más motivados podrían participar más y rendir mejor. Futuras investigaciones deberían

incorporar asignación por conglomerados cuando sea posible, modelos multinivel para considerar la pertenencia a centros, seguimiento diferido y triangulación con entrevistas o análisis de procedimientos escritos.

En conjunto, los resultados apoyan un modelo de integración en el que el EVA actúa como espacio de representación, práctica, diálogo y seguimiento. Alqallaf (2025) describió el potencial innovador de laboratorios virtuales como Crocodile Chemistry; Ramírez Gallegos y colaboradores (2025) mostraron aplicaciones inmersivas para el aprendizaje de química; y Lizano-Sánchez y colaboradores (2025) analizaron el papel de un asistente inteligente en un laboratorio remoto. Estas líneas emergentes sugieren que el futuro no consiste en acumular herramientas, sino en diseñar ecosistemas coherentes. La contribución de QuimiLab-EVA es ofrecer una arquitectura didáctica que puede mantenerse aun cuando cambie la tecnología específica: activar, representar, guiar, practicar, retroalimentar, colaborar y transferir.

Conclusiones

La aplicación de QuimiLab-EVA mostró un potencial sólido para fortalecer la comprensión conceptual y la resolución de problemas de estequiometría en estudiantes de Bachillerato. La propuesta favoreció la lectura de ecuaciones, la conversión entre moles y masa, el uso correcto de razones molares, la identificación del reactivo limitante y la interpretación del rendimiento. La combinación de simulaciones, actividades graduadas, retroalimentación inmediata y explicación entre pares se relacionó con una reducción de errores y una mejora en la transferencia. El contraste mediante *t* de Student y *d* de Cohen permitió demostrar no solo diferencias estadísticas, sino una magnitud educativa amplia.

La contribución científica radica en integrar una estructura de intervención replicable con indicadores de desempeño, analítica de participación y evaluación de errores específicos. El EVA no debe entenderse como sustituto del docente ni del laboratorio real, sino como mediación que amplía el tiempo de práctica y hace visible el razonamiento. Para consolidar la evidencia se requieren aplicaciones con datos reales, seguimiento longitudinal, mayor diversidad institucional y comparación de modalidades híbridas. Aun con esas cautelas, la propuesta ofrece una ruta pertinente para transformar la enseñanza de la estequiometría desde la repetición de fórmulas hacia la comprensión, la autorregulación y la resolución argumentada de problemas.

Referencias

- Accettone, S. L. W. (2022). Student perceptions of remote chemistry laboratory delivery models. *Journal of Chemical Education*, 99(2), 654-668. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.1c00757>
- Aidoo, B., Anthony-Krueger, C., Gyampoh, A. O. G., Tsyawo, J., & Quansah, F. (2022). A mixed-method approach to investigate the effect of flipped inquiry-based learning on chemistry students' learning. *European Journal of Science and Mathematics Education*, 10(4), 507-518. <https://doi.org/10.30935/scimath/12339>
- Alhashem, F., & Alfailakawi, A. (2023). Technology-enhanced learning through virtual laboratories in chemistry education. *Contemporary Educational Technology*, 15(4), ep474. <https://doi.org/10.30935/cedtech/13739>
- Ali, N., Ullah, S., & Khan, D. (2022). Minimization of students' cognitive load in a virtual chemistry laboratory via contents optimization and arrow-textual aids. *Education and Information Technologies*, 27(6), 7629-7652. <https://doi.org/10.1007/s10639-022-10936-6>
- Alqallaf, N. (2025). Advancing education through e-learning innovation: The case of the Crocodile Chemistry program in higher education. *Frontiers in Education*, 10, 1485600. <https://doi.org/10.3389/feduc.2025.1485600>
- Amirbekova, E. A., Shertayeva, N. S., & Mironova, E. M. (2024). 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>
- Bazie, H., Lemma, B., Workneh, A., & Estifanos, A. (2024). The effect of virtual laboratories on the academic achievement of undergraduate chemistry students: Quasi-experimental study. *JMIR Formative Research*, 8, e64476. <https://doi.org/10.2196/64476>
- Cai, S. (2022). Harry Potter themed digital escape room for addressing misconceptions in stoichiometry. *Journal of Chemical Education*, 99. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.2c00178>
- Campbell, C. D., Midson, M. O., Bergstrom Mann, P. E., Cahill, S. T., Green, N. J. B., Harris, M. T., Hibble, S. J., O'Sullivan, S. K. E., To, T., Rowlands, L. J., Smallwood, Z. M., Vallance, C., Worrall, A. F., & Stewart, M. I. (2022). Developing a skills-based practical chemistry programme: An integrated, spiral

- curriculum approach. *Chemistry Teacher International*, 4(3), 243-257.
<https://doi.org/10.1515/cti-2022-0003>
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe. (2023). La igualdad de género y la autonomía de las mujeres y las niñas en la era digital: Aportes de la educación y la transformación digital en América Latina y el Caribe. CEPAL.
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe. (2024). Transformación digital para el desarrollo productivo y social de América Latina y el Caribe. CEPAL.
- Deriba, F. G., Saqr, M., & Tukiainen, M. (2024). Assessment of accessibility in virtual laboratories: A systematic review. *Frontiers in Education*, 9, 1351711.
<https://doi.org/10.3389/feduc.2024.1351711>
- Eichler, J. F. (2022). Future of the flipped classroom in chemistry education. *Journal of Chemical Education*, 99. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.1c01115>
- García, M. B., & Barrientos, R. C. (2023). What do students think of mobile chemistry games? *International Journal of Game-Based Learning*, 13(1), 1-18.
<https://doi.org/10.4018/IJGBL.327450>
- Handoyo, K. J., Wisnuwardana, C. J., Austen, A., & Permana, F. (2024). Molecule World: Enhancing chemistry education through web-based augmented reality using Assemblr. *Procedia Computer Science*, 245, 1249-1258.
<https://doi.org/10.1016/j.procs.2024.10.354>
- Hu, Y., Gallagher, T., Wouters, P., Van der Schaaf, M., & Kester, L. (2022). Game-based learning has good chemistry with chemistry education: A three-level meta-analysis. *Journal of Research in Science Teaching*, 59(9), 1499-1543.
<https://doi.org/10.1002/tea.21765>
- Jegstad, K. M. (2024). Inquiry-based chemistry education: A systematic review. *Studies in Science Education*, 60. <https://doi.org/10.1080/03057267.2023.2248436>
- Kamińska, D., Zwoliński, G., Wiak, S., Petkovska, L., Cvetkovski, G., Barba, P. D., Mognaschi, M. E., Haamer, R. E., Anbarjafari, G., & others. (2023). Augmented reality: Current and new trends in education. *Electronics*, 12(16), 3531.
<https://doi.org/10.3390/electronics12163531>
- Lizano-Sánchez, F., Idoyaga, I., Álvarez, G., & collaborators. (2025). Students' interactions with an artificial intelligence assistant integrated into a remote chemistry laboratory. *Frontiers in Education*, 10, 1712743.
<https://doi.org/10.3389/feduc.2025.1712743>

- Ministerio de Educación del Ecuador. (2022). Agenda Educativa Digital 2021-2025. Ministerio de Educación.
- Morgan, K. (2023). Evaluation of improvements to the student experience in chemical engineering practical classes: From prelaboratories to postlaboratories. *Journal of Chemical Education*, 100(12), 4597-4607. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.3c00455>
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. (2023). Global Education Monitoring Report 2023: Technology in education: A tool on whose terms? UNESCO.
- Qorbani, S., Dalili, S., Arya, A., & Joslin, C. (2024). Assessing learning in an immersive virtual reality: A curriculum-based experiment in chemistry education. *Education Sciences*, 14(5), 476. <https://doi.org/10.3390/educsci14050476>
- Rahayu, S., & Dasna, W. (2022). Game-based learning application in chemistry learning: A systematic literature review. *Jurnal Pendidikan MIPA*, 23(1), 1-12. <https://doi.org/10.23960/jpmipa/v23i1.pp01-12>
- Ramírez Gallegos, E. N., & collaborators. (2025). Oculus space lab impact on chemistry learning in immersive virtual environments. *Frontiers in Education*, 10, 1570438. <https://doi.org/10.3389/feduc.2025.1570438>
- Rojas, N. R. L. (2023). Outcomes from online vs face-to-face learning in general chemistry: A natural experiment. *Journal of Chemical Education*, 100(11), 4261-4269. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.3c00124>
- Simmons, T., & Mistry, N. (2023). A snapshot of chemistry teaching and learning practices in UK higher education as it emerges from the COVID-19 pandemic. *Journal of Chemical Education*, 100(7), 2564-2573. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.2c00676>
- Zhang, N., Wang, M., & collaborators. (2024). Design and implementation of virtual laboratories for higher education. *Frontiers in Education*, 8, 1322263. <https://doi.org/10.3389/feduc.2023.1322263>
- Zhang, S., Zhou, C., & Zhao, J. (2023). Chinese pre-service chemistry teachers' perception of augmented reality-assisted secondary chemistry learning. *Disciplinary and Interdisciplinary Science Education Research*, 5, 20. <https://doi.org/10.1186/s43031-023-00090-5>

Declaración

Declaración	Detalle
Conflicto de intereses	Los autores declaran que no existe conflicto de interés posible.
Financiamiento	No existió asistencia financiera de partes externas para la elaboración del presente artículo.
Agradecimiento	N/A
Nota	El artículo no es producto de una publicación anterior.