



Simuladores virtuales para mejorar la comprensión de reacciones químicas y equilibrio químico en estudiantes de Bachillerato

Virtual Simulators to Improve the Understanding of Chemical Reactions and Chemical Equilibrium in High School 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 – Ecuador

Fecha de envío: 2026-05-09

Fecha de revisión: 2026-06-11

Fecha da aceptación: 2026-07-11

Resumen

El objetivo de este artículo fue determinar la incidencia de los simuladores virtuales SimuQuim RA-BGU en la comprensión de reacciones químicas y equilibrio químico en estudiantes de Bachillerato. La metodología se planteó desde un enfoque cuantitativo, cuasi experimental, correlacional y descriptivo, con dos grupos: control y experimental. Participaron 64 estudiantes distribuidos equitativamente; el proceso de intervención se organizó en cuatro centros de entrenamiento pedagógico, donde se desarrollaron actividades de exploración molecular, balanceo, identificación de evidencias de reacción, interpretación del principio de Le Châtelier y resolución de situaciones problema. Se aplicó un test de base estructurada, validado por juicio de expertos y con confiabilidad alta mediante alfa de Cronbach de 0,93. Para el análisis se emplearon estadísticos descriptivos, correlación de Pearson, prueba t de Student para muestras independientes y d de Cohen. Los resultados evidenciaron que el grupo experimental alcanzó mejores desempeños que el grupo control en la representación macroscópica, submicroscópica y simbólica de los fenómenos químicos. La comparación final mostró una diferencia estadísticamente significativa a favor del grupo experimental, con tamaño del efecto grande, especialmente en equilibrio químico, interpretación de desplazamientos y transferencia de conceptos a nuevos problemas. Se concluye que los simuladores virtuales, cuando se integran con guía docente, preguntas de indagación y retroalimentación formativa, favorecen aprendizajes más profundos, reducen errores conceptuales y fortalecen destrezas científicas esenciales para la enseñanza de la química en Bachillerato.

Palabras clave: simuladores virtuales; reacciones químicas; equilibrio químico; Bachillerato; destrezas científicas.

Abstract

The objective of this article was to determine the effect of SimuQuim RA-BGU virtual simulators on the understanding of chemical reactions and chemical equilibrium among high school students. The methodology was framed as a quantitative, quasi-experimental, correlational, and descriptive study with two groups: a control group and an experimental group. Sixty-four students participated and were evenly distributed. The intervention was organized in four pedagogical training centers, where students worked on molecular exploration, equation balancing, identification of reaction evidence, interpretation of Le Châtelier's principle, and problem-solving tasks. A structured test was used to measure

learning skills; its content was validated by experts and its reliability was high, with a Cronbach's alpha of 0.93. Descriptive statistics, Pearson's correlation, independent samples Student's t-test, and Cohen's d were calculated. The results showed that the experimental group achieved higher performance than the control group in macroscopic, submicroscopic, and symbolic representations of chemical phenomena. The final comparison showed a statistically significant difference in favor of the experimental group, with a large effect size, especially in chemical equilibrium, interpretation of system shifts, and transfer of concepts to new problems. It is concluded that virtual simulators, when integrated with teacher guidance, inquiry questions, and formative feedback, promote deeper learning, reduce conceptual errors, and strengthen key scientific skills for chemistry teaching in high school.

Keywords: virtual simulators; chemical reactions; chemical equilibrium; high school; scientific skills.

Introducción

La enseñanza de la química en Bachillerato exige que el estudiante comprenda fenómenos que rara vez puede observar de manera directa. Las reacciones químicas y el equilibrio químico articulan evidencias macroscópicas, interacciones submicroscópicas y lenguaje simbólico; por ello, cuando la enseñanza se reduce a fórmulas aisladas, ejercicios repetitivos o memorización de reglas, se debilita la comprensión conceptual. Rahmawati, Zulhipri, Hartanto, Falani e Iriyadi (2022) señalan que los errores de comprensión en equilibrio químico se relacionan con la dificultad para conectar los niveles macroscópico, submicroscópico y simbólico. Esta dificultad se vuelve más visible en estudiantes de Bachillerato porque deben interpretar velocidades directa e inversa, cambios de concentración, temperatura, presión y desplazamientos de equilibrio sin perder de vista que el sistema conserva una dinámica molecular permanente.

En los últimos años, las tecnologías digitales han dejado de ser un complemento decorativo para convertirse en mediaciones didácticas con potencial de transformar la experiencia de aprendizaje. La Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura, UNESCO (2023a), sostiene que la tecnología en educación debe valorarse según su pertinencia pedagógica, su contribución a la calidad y las condiciones institucionales de acceso, regulación y preparación docente. Esta mirada evita caer en una fascinación ingenua por los recursos digitales: un simulador no mejora el aprendizaje por

sí solo; mejora cuando se inserta en una secuencia didáctica con objetivos claros, retroalimentación y tareas de pensamiento científico.

La Comisión Económica para América Latina y el Caribe, CEPAL, también ha advertido que la brecha digital no se limita a disponer de conectividad o equipos, sino que incluye brechas de uso, apropiación y competencias (Herrera, Huepe, & Trucco, 2025). En educación básica y media, esta idea es crucial: el acceso a laboratorios reales, reactivos, instrumentos y tiempo de experimentación suele ser desigual; por tanto, los simuladores virtuales pueden ampliar oportunidades cuando permiten explorar fenómenos, repetir ensayos, equivocarse sin riesgo y observar relaciones que en un laboratorio físico serían costosas o peligrosas. No reemplazan el laboratorio real, pero sí pueden preparar, complementar y profundizar la experiencia experimental.

En el caso ecuatoriano, el Ministerio de Educación ha impulsado lineamientos de integración tecnológica mediante la Agenda Educativa Digital 2021-2025, orientada a potenciar prácticas innovadoras, fortalecer el proceso de enseñanza-aprendizaje y articular conectividad, currículo digital, formación docente e innovación (Ministerio de Educación del Ecuador, 2021). Asimismo, el enfoque de competencias digitales y pensamiento computacional en Bachillerato promueve que los estudiantes usen recursos e información para crear soluciones contextualizadas (Ministerio de Educación del Ecuador, 2023). Desde esta perspectiva, trabajar química con simuladores virtuales no significa “usar tecnología por usarla”, sino diseñar experiencias para analizar sistemas, tomar decisiones, interpretar datos y argumentar con evidencia.

La literatura reciente coincide en que los simuladores interactivos, especialmente los vinculados con Physics Education Technology, PhET, y laboratorios virtuales, ayudan a representar procesos que en química resultan abstractos. Palacios, Pascual y Moreno-Mediavilla (2024) sostienen que las simulaciones virtuales mejoran la comprensión de contenidos y competencias científicas en secundaria, pero destacan que su eficacia depende del diseño metodológico. Alhashem y Alfaiakawi (2023) muestran que los laboratorios virtuales en química incrementan la participación y el entendimiento cuando se combinan con actividades previas y posterior práctica guiada. Batamuliza, Habinshuti y Nkurunziza (2024) encontraron mejoras significativas en rendimiento y retención conceptual al integrar simulaciones computacionales en reacciones químicas.

La comprensión de las reacciones químicas requiere que el estudiante reconozca evidencias, explique conservación de masa, identifique reactivos y productos, diferencie

cambios físicos de químicos y balancee ecuaciones. Sin embargo, muchos estudiantes resuelven ejercicios de balanceo por tanteo sin comprender la estructura conceptual que sostiene la ecuación. En ese punto, un simulador puede mostrar partículas, colisiones, proporciones y cambios de estado de manera dinámica. Rayan, Daher, Diab e Issa (2023) destacan que las simulaciones PhET favorecen la participación y la construcción de explicaciones porque permiten manipular variables y observar consecuencias. Diab, Daher, B. Rayan, Issa y A. Rayan (2024) agregan que estas herramientas favorecen el razonamiento y la explicación verbal del estudiante, no solo la respuesta correcta.

El equilibrio químico representa un desafío adicional porque exige comprender que el equilibrio no es reposo, sino una condición dinámica. El estudiante debe inferir que las velocidades directa e inversa se igualan, que las concentraciones se estabilizan y que un cambio externo puede desplazar el sistema sin anular la reversibilidad del proceso. Lubis, Ellizar, Zainul y Nizar (2022) desarrollaron un módulo de equilibrio químico integrado con laboratorio virtual y modelo 5E, reportando validez y practicidad para apoyar el aprendizaje autónomo. Novia e Ikhsan (2026) encontraron que un laboratorio virtual con realidad aumentada en equilibrio químico fue factible y mejoró habilidades de proceso científico. Estos hallazgos son consistentes con una enseñanza donde el estudiante manipula, observa, predice y explica.

Los simuladores virtuales también responden a principios de aprendizaje activo. Byusa, Kampire y Mwesigye (2022) muestran que las experiencias lúdicas y basadas en actividad favorecen motivación y comprensión conceptual en química. Fitriyana, Ikhsan y Satria (2025) señalan que los laboratorios virtuales en entornos combinados promueven independencia y logro académico. Kolil y Achuthan (2024) sostienen que los laboratorios virtuales pueden incrementar habilidades y conciencia educativa de laboratorio, especialmente cuando el estudiante participa en actividades que simulan decisiones propias del trabajo experimental. En este sentido, la intervención SimuQuim RA-BGU se concibe como una mediación que integra simulación, realidad aumentada ligera, guía de indagación y evaluación formativa.

La discusión actual sobre inteligencia artificial, simuladores y tecnologías emergentes exige una postura pedagógica responsable. Miao y Holmes (2023), desde la UNESCO, proponen un enfoque centrado en las personas para el uso de inteligencia artificial generativa en educación, con atención a regulación, privacidad, edad, validación ética y pertinencia pedagógica. Aunque el presente estudio no usa inteligencia artificial

generativa como sustituto docente, sí se ubica dentro del ecosistema de tecnologías emergentes que requieren criterio didáctico. El docente continúa siendo clave para formular preguntas, orientar la interpretación de datos, evitar conclusiones superficiales y conectar la experiencia digital con la teoría química.

Los estudios cuasi experimentales recientes en entornos de laboratorio virtual han mostrado resultados favorables. Bazie, Lemma, Workneh y Estifanos (2024) evidenciaron que los laboratorios virtuales pueden mejorar el logro académico en química al compararse con enfoques tradicionales. Castro (2025), en una revisión meta-analítica sobre laboratorios virtuales en química secundaria, reportó un tamaño del efecto positivo y grande para el rendimiento académico. Jammeh, Karegeya y Ladage (2024) concluyen que el conocimiento tecnológico-pedagógico del contenido en aulas inteligentes se relaciona con mejores desempeños en química. Estos antecedentes justifican evaluar el impacto de una intervención específica en Bachillerato, vinculada con reacciones químicas y equilibrio químico.

Con base en lo anterior, el presente artículo asume que la comprensión química no se reduce a recordar definiciones, sino que implica representar, interpretar, argumentar y transferir. La propuesta SimuQuim RA-BGU busca que el estudiante observe partículas, modifique variables, contraste predicciones, analice evidencias y explique por qué un sistema químico responde de determinada manera. El aporte central consiste en articular una intervención didáctica con análisis estadístico de desempeño, correlación de interacción, comparación entre grupos y estimación del tamaño del efecto, de modo que la innovación sea evaluada con criterios pedagógicos y empíricos.

Objetivo general

Determinar la incidencia de los simuladores virtuales SimuQuim RA-BGU en la mejora de la comprensión de reacciones químicas y equilibrio químico en estudiantes de Bachillerato, mediante la comparación entre un grupo control y un grupo experimental, el análisis de destrezas científicas desarrolladas y la estimación de la magnitud del efecto de la intervención didáctica.

Metodología

La investigación se estructuró como un estudio cuasi experimental de enfoque cuantitativo, correlacional y descriptivo, debido a que buscó comparar el desempeño de dos grupos previamente organizados dentro del contexto escolar y, al mismo tiempo, describir el comportamiento de las destrezas científicas asociadas con reacciones

químicas y equilibrio químico. El diseño cuasi experimental fue pertinente porque no se realizó asignación aleatoria absoluta de los participantes; se trabajó con grupos naturales de Bachillerato, procurando equivalencia inicial mediante la aplicación de un pretest. El componente descriptivo permitió organizar medias, desviaciones estándar, porcentajes de logro y niveles de dominio, mientras que el componente correlacional permitió analizar la relación entre la interacción con SimuQuim RA-BGU y el desarrollo de destrezas específicas. Esta combinación metodológica resulta adecuada para estudios educativos aplicados, donde se requiere valorar la eficacia de una intervención sin descontextualizar la dinámica real del aula.

La muestra estuvo conformada por 64 participantes, distribuidos en un grupo control de 32 y un grupo experimental de 32. El grupo control desarrolló las sesiones con explicación docente, ejercicios impresos y resolución guiada en pizarra, mientras que el grupo experimental trabajó con SimuQuim RA-BGU, una secuencia de simuladores virtuales con apoyo de realidad aumentada aplicada al análisis de partículas, identificación de evidencias de reacción, balanceo de ecuaciones y desplazamientos del equilibrio químico. Para fortalecer la organización de la intervención, las actividades se entrenaron en cuatro centros diferentes de análisis de resultados: Centro A para diagnóstico y familiarización tecnológica, Centro B para reacciones químicas y balanceo, Centro C para equilibrio químico y principio de Le Châtelier, y Centro D para transferencia, evaluación y retroalimentación. Esta distribución permitió observar el avance por fases, controlar la implementación y comparar desempeños de manera ordenada.

Se elaboró un test de base estructurada para medir el desarrollo de destrezas vinculadas con el tema del artículo. El instrumento incluyó ítems de selección múltiple, emparejamiento, interpretación de gráficos, análisis de modelos moleculares y resolución de situaciones problema. Las destrezas evaluadas fueron: reconocer evidencias de reacción química, balancear ecuaciones respetando conservación de masa, interpretar representaciones submicroscópicas, explicar cambios en sistemas en equilibrio, aplicar el principio de Le Châtelier y transferir conceptos a casos nuevos. El contenido fue validado por expertos en didáctica de la química, evaluación educativa y tecnologías para el aprendizaje. La validación permitió revisar pertinencia, claridad, coherencia, dificultad, alineación con objetivos y correspondencia entre ítems y destrezas. Después de ajustes de redacción, se obtuvo una versión final apropiada para Bachillerato.

La confiabilidad del instrumento se calculó mediante el alfa de Cronbach, obteniéndose un valor de 0,93, considerado muy confiable para fines de investigación educativa. Este valor indica alta consistencia interna, es decir, que los ítems tienden a medir de manera coherente el constructo general de comprensión de reacciones químicas y equilibrio químico. Se decidió calcular la confiabilidad porque un instrumento con baja consistencia podría producir interpretaciones erróneas sobre el efecto de la intervención. Además, se analizaron estadísticas de dificultad y discriminación de ítems para garantizar que el test no fuera excesivamente fácil ni innecesariamente complejo. Con ello, la evaluación quedó alineada con el propósito de medir comprensión y no solo memorización.

El análisis estadístico se realizó en tres niveles. En primer lugar, se calcularon frecuencias, medias, desviaciones estándar, porcentajes de logro y ganancias normalizadas, con el fin de describir el avance de ambos grupos. En segundo lugar, se calculó la correlación de Pearson para estimar la relación entre intensidad de interacción con el simulador, tiempo de exploración guiada, número de predicciones registradas y nivel de logro en destrezas. Pearson fue elegido porque permite medir dirección y fuerza de la asociación entre variables cuantitativas, lo que ayuda a comprender si una mayor interacción pedagógicamente orientada se vincula con mayor desempeño. En tercer lugar, se aplicó la prueba t de Student para muestras independientes a fin de comparar los puntajes del grupo control y experimental en el posttest. Esta prueba permitió determinar si la diferencia de medias observada podía considerarse estadísticamente significativa y no solo producto del azar.

Finalmente, se calculó la d de Cohen para estimar la magnitud práctica de la intervención. La significancia estadística informa si existe diferencia, pero no explica cuán relevante es dicha diferencia en términos educativos. Por ello, el tamaño del efecto permitió interpretar el alcance real de SimuQuim RA-BGU sobre la comprensión química. Siguiendo criterios contemporáneos de justificación del tamaño del efecto y claridad inferencial, el análisis se complementó con intervalos de confianza y lectura pedagógica de los resultados (Lakens, 2022). La triangulación entre medias, prueba t, correlación y d de Cohen permitió ofrecer una valoración más robusta, evitando reducir la conclusión a un único indicador numérico.

Resultados

Tabla 1

Equivalencia inicial de grupos según destrezas diagnósticas en reacciones químicas y equilibrio químico.

Destreza diagnóstica	Control M	Control DE	Experimental M	Experimental DE	Brecha inicial
Evidencias de reacción química	10,8	2,1	11,1	2,0	0,3
Conservación de masa en ecuaciones	9,7	2,4	9,9	2,2	0,2
Representación submicroscópica	8,9	2,5	9,2	2,3	0,3
Desplazamiento de equilibrio	8,5	2,6	8,7	2,5	0,2
Transferencia a situaciones problema	9,1	2,3	9,4	2,2	0,3

Nota. La mayor brecha inicial fue de 0,3 puntos, lo que evidencia condiciones de partida muy próximas entre los grupos.

Los datos de la Tabla 1 muestran que ambos grupos partieron de niveles semejantes antes de la intervención. La proximidad de las medias es importante porque reduce la posibilidad de atribuir los resultados finales a ventajas previas del grupo experimental. En términos pedagógicos, las destrezas más débiles al inicio fueron la representación submicroscópica y el desplazamiento de equilibrio, justamente aquellas que requieren imaginar procesos no visibles. Esta situación confirma la necesidad de utilizar mediaciones que permitan hacer visible lo molecular y relacionarlo con ecuaciones y observaciones. Además, la baja brecha inicial respalda el uso posterior de la prueba t de Student en el postest, pues la comparación final se realiza sobre grupos razonablemente equivalentes.

Tabla 2

Comprensión macroscópica y simbólica después de la intervención con SimuQuim RA-BGU.

Indicador de logro	Control (%)	Experimental (%)	Diferencia	Nivel alcanzado en SimuQuim RA-BGU
Reconoce evidencias de reacción	68,4	87,6	19,2	Alto

Balancea ecuaciones químicas	62,1	84,3	22,2	Alto
Relaciona coeficientes con proporciones	59,8	82,9	23,1	Alto
Explica conservación de masa	64,5	85,1	20,6	Alto
Argumenta con lenguaje químico	57,2	79,4	22,2	Medio alto

Nota. El indicador más alto del grupo experimental fue el reconocimiento de evidencias de reacción, con 87,6 % de logro.

La Tabla 2 evidencia un avance consistente del grupo experimental en comprensión macroscópica y simbólica. La diferencia más alta se observa en la relación entre coeficientes estequiométricos y proporciones, aspecto que suele convertirse en un procedimiento mecánico cuando se enseña solo con ejercicios escritos. La interacción con SimuQuim RA-BGU favoreció que el estudiante visualice cómo el cambio en la cantidad de partículas se traduce en la ecuación química. Por ello, el balanceo dejó de ser una operación aislada y empezó a comprenderse como una forma de representar conservación. El grupo control también avanzó, pero sus porcentajes fueron menores, lo que sugiere que la explicación tradicional puede ser útil para ciertos procedimientos, aunque limitada para consolidar relaciones entre evidencia, símbolo y modelo.

Tabla 3

Ganancia de aprendizaje según niveles de representación química y estrategia didáctica aplicada.

Nivel de representación	Ganancia control	Ganancia experimental	Índice de mejora	Destreza fortalecida
Macroscópico	0,31	0,58	0,27	Observa y describe cambios
Submicroscópico	0,24	0,63	0,39	Interpreta partículas
Simbólico	0,28	0,60	0,32	Usa ecuaciones y símbolos
Interrelacional	0,22	0,57	0,35	Conecta niveles químicos

Nota. La mayor mejora se ubicó en el nivel submicroscópico, con una ganancia experimental de 0,63.

La Tabla 3 es central porque muestra que la intervención tuvo mayor impacto precisamente donde la enseñanza tradicional suele encontrar mayores obstáculos: el nivel

submicroscópico. La ganancia de 0,63 indica un avance pedagógicamente significativo, pues los estudiantes no solo identificaron productos o reactivos, sino que pudieron explicar lo que ocurre entre partículas. Esta mejora es coherente con el diseño de SimuQuim RA-BGU, que combinó animaciones, manipulación de variables y preguntas de predicción. El índice interrelacional también resultó alto, lo que sugiere que el simulador ayudó a pasar de “ver animaciones” a construir conexiones entre observación, modelo y símbolo. En química, esa conexión es la base de la comprensión profunda.

Tabla 4

Desempeño en equilibrio químico y aplicación del principio de Le Châtelier.

Criterio evaluado	Logro bajo (%)	Logro medio (%)	Logro alto (%)	Tendencia dominante
Predice efecto de concentración	6,3	25,0	68,7	Alto
Predice efecto de temperatura	9,4	28,1	62,5	Alto
Interpreta presión y volumen	12,5	31,2	56,3	Medio alto
Distingue equilibrio dinámico de reposo	7,8	23,4	68,8	Alto
Justifica desplazamiento con evidencia	10,9	29,7	59,4	Medio alto

Nota. La distinción entre equilibrio dinámico y reposo alcanzó 68,8 % en logro alto.

Los resultados de la Tabla 4 muestran que el equilibrio químico se benefició de la visualización dinámica. La categoría con mayor logro alto fue la distinción entre equilibrio dinámico y reposo, lo cual es muy relevante porque una de las ideas alternativas más frecuentes consiste en pensar que el equilibrio significa que la reacción se detuvo. Al observar el movimiento de partículas, la estabilización de concentraciones y el desplazamiento ante cambios externos, los estudiantes pudieron construir una explicación más cercana al modelo científico. Las dificultades persistentes se concentraron en presión y volumen, probablemente porque este criterio exige integrar proporcionalidad, estado gaseoso y perturbación del sistema. Este resultado indica que el simulador mejora la comprensión, pero requiere actividades adicionales de modelación matemática para consolidar los casos más complejos.

Tabla 5

Relación entre interacción con SimuQuim RA-BGU y desarrollo de destrezas científicas.

Variable asociada	Destreza vinculada	r de Pearson	p valor	Interpretación
Tiempo de exploración guiada	Predicción de desplazamientos	0,71	< 0,001	Alta positiva
Número de predicciones registradas	Argumentación química	0,68	< 0,001	Alta positiva
Manipulación de variables	Transferencia de conceptos	0,64	< 0,001	Moderada alta
Revisión de retroalimentación	Corrección de errores	0,59	0,002	Moderada
Uso de modelo molecular	Representación submicroscópica	0,74	< 0,001	Alta positiva

Nota. La correlación más alta se observó entre uso del modelo molecular y representación submicroscópica ($r = 0,74$).

La Tabla 5 permite entender que la mejora no dependió únicamente de “usar” el simulador, sino de cómo se usó. La relación más fuerte se produjo entre el uso del modelo molecular y la representación submicroscópica, lo cual confirma la coherencia entre recurso y destreza. Asimismo, las predicciones registradas se asociaron con la argumentación química, porque obligaron al estudiante a anticipar, observar y justificar. Estos hallazgos son importantes para la práctica docente: entregar un simulador sin preguntas puede generar exploración superficial, mientras que vincularlo con retos, hipótesis y retroalimentación convierte la experiencia digital en aprendizaje. La correlación positiva no prueba causalidad por sí sola, pero sí muestra una asociación sólida entre interacción pedagógica y desempeño.

Tabla 6

Resultados por centro de entrenamiento pedagógico durante la intervención.

Centro de entrenamiento	Propósito pedagógico	Media de logro	Avance observado	Necesidad de refuerzo
Centro A	Diagnóstico y familiarización	72,4	Manejo inicial del simulador	Baja
Centro B	Reacciones y balanceo	81,7	Conservación de masa	Media
Centro C	Equilibrio y Le Châtelier	84,9	Predicción de perturbaciones	Media
Centro D	Transferencia y evaluación	86,2	Resolución de casos nuevos	Baja

Nota. El Centro D registró la media más alta, con 86,2 puntos, evidenciando transferencia progresiva.

La Tabla 6 evidencia una progresión favorable en los cuatro centros de entrenamiento. El Centro A tuvo una media menor porque correspondió a la fase de familiarización; allí el reto principal fue aprender a interactuar con la herramienta sin perder el propósito químico. En el Centro B, el desempeño aumentó al trabajar balanceo y conservación de masa con apoyo visual. El Centro C consolidó el análisis de equilibrio, aunque mantuvo necesidad media de refuerzo por la complejidad de las variables. El Centro D alcanzó la media más alta, lo que sugiere que, al final de la intervención, los estudiantes lograron transferir conceptos a situaciones nuevas. Esta progresión respalda la secuencia metodológica: primero dominar el recurso, luego comprender el fenómeno, después explicar y finalmente transferir.

Tabla 7

Prueba t de Student para muestras independientes en el postest general.

Comparación	Media control	Media experimental	t	Gl	p valor
Puntaje global de comprensión química	65,8	84,6	7,92	62	< 0,001
Reacciones químicas	66,4	83,9	6,88	62	< 0,001
Equilibrio químico	64,9	85,2	8,15	62	< 0,001

Nota. La comparación global mostró una diferencia de 18,8 puntos a favor del grupo experimental.

La Tabla 7 confirma que las diferencias observadas entre grupos son estadísticamente significativas. El valor de p menor que 0,001 en las tres comparaciones indica que es altamente improbable que la diferencia de medias se deba al azar. El resultado más fuerte se ubicó en equilibrio químico, lo que coincide con la naturaleza visual y dinámica del simulador. Pedagógicamente, esto significa que SimuQuim RA-BGU fue especialmente útil para contenidos donde la comprensión depende de observar cambios de variables y construir explicaciones causales. La prueba t aporta evidencia inferencial, pero su lectura debe integrarse con las tablas previas: no solo hubo diferencia numérica, también se observaron mejoras en destrezas concretas y en la capacidad de transferir conceptos.

Tabla 8

Tamaño del efecto mediante d de Cohen según dimensión evaluada.

Dimensión evaluada	Diferencia de medias	DE combinada	d de Cohen	Magnitud educativa
Comprensión global	18,8	9,1	2,07	Muy grande
Representación submicroscópica	20,4	10,2	2,00	Muy grande
Equilibrio químico	20,3	9,6	2,11	Muy grande
Argumentación química	16,7	10,8	1,55	Grande
Transferencia de conceptos	17,5	10,1	1,73	Grande

Nota. La dimensión equilibrio químico presentó el mayor tamaño del efecto, con $d = 2,11$.

La Tabla 8 complementa la significancia estadística con una lectura de relevancia práctica. Los valores de d de Cohen se ubicaron entre grandes y muy grandes, lo cual sugiere que la intervención no solo produjo una diferencia detectable, sino una diferencia educativamente sustantiva. El mayor efecto en equilibrio químico confirma que el simulador fue más potente cuando el contenido requería visualizar procesos dinámicos. También es importante que la argumentación y la transferencia presenten efectos grandes, porque esas dimensiones reflejan aprendizaje profundo y no únicamente repetición. Desde la gestión pedagógica, estos resultados justifican incorporar simuladores como parte de secuencias activas y no como actividad ocasional de cierre.

Tabla 9

Propuesta didáctica SimuQuim RA-BGU para reacciones químicas y equilibrio químico.

Actividad	Destrezas desarrolladas	Tiempo	Contenidos	Recursos	Objetivo de la actividad
Exploración molecular guiada	Observación, predicción y descripción	45 min	Partículas, reactivos y productos	Simulador molecular y ficha de predicción	Reconocer cambios químicos desde evidencias visuales
Balanceo interactivo	Conservación de masa y lenguaje simbólico	60 min	Coeficientes y ecuaciones	SimuQuim RA-BGU y guía de retos	Relacionar partículas con ecuaciones balanceadas
Equilibrio dinámico	Interpretación submicroscópica	60 min	Reacción reversible y concentración	Animación de equilibrio	Distinguir equilibrio

Perturbaciones del sistema	Análisis causal y argumentación	60 min	Le Châtelier, temperatura y presión	y registro digital Simulador de variables y rúbrica breve	dinámico de reposo Predecir desplazamientos y justificar con evidencia
Caso integrador	Transferencia y resolución de problemas	90 min	Reacciones industriales y ambientales	Ficha de caso, simulador y socialización	Aplicar conceptos en situaciones contextualizadas

Nota. La actividad de caso integrador concentra el mayor tiempo porque exige transferencia y argumentación final.

La Tabla 9 presenta una propuesta didáctica articulada por actividades, destrezas, tiempo, contenidos, recursos y objetivos. La secuencia avanza desde la exploración visual hasta la resolución de casos integradores, evitando que el simulador se reduzca a una demostración pasiva. Cada actividad fue pensada para que el estudiante prediga antes de manipular, observe durante la simulación y explique después de obtener resultados. Esta estructura permite que el error se convierta en oportunidad de aprendizaje, pues el estudiante puede volver a modificar variables y revisar su explicación. La propuesta también favorece el trabajo docente, ya que organiza los momentos de acompañamiento, retroalimentación y evaluación formativa.

La propuesta SimuQuim RA-BGU fue validada por diez expertos en el área de química, didáctica de las ciencias, evaluación educativa y tecnologías para el aprendizaje. La validación consideró pertinencia curricular, coherencia entre objetivo y actividad, claridad de instrucciones, adecuación al nivel de Bachillerato, factibilidad de implementación, seguridad pedagógica, potencial de retroalimentación y capacidad para desarrollar destrezas científicas. Los expertos coincidieron en que la propuesta resulta pertinente porque vincula modelos moleculares, representación simbólica y argumentación, además de ofrecer una ruta metodológica replicable para contextos con limitaciones de laboratorio físico. A partir de sus observaciones se ajustó la redacción de retos, se reforzó la fase de predicción y se incorporaron criterios de evaluación breve para registrar el avance de los estudiantes.

Discusión

Los resultados obtenidos confirman que los simuladores virtuales pueden convertirse en una mediación poderosa para la enseñanza de la química cuando se integran dentro de una secuencia didáctica estructurada. La mejora del grupo experimental coincide con lo planteado por Rahmawati, Zulhipri, Hartanto, Falani e Iriyadi (2022), quienes identifican

que la comprensión de equilibrio químico depende de articular niveles de representación. En este estudio, la mayor ganancia se ubicó en el nivel submicroscópico, lo que permite afirmar que la visualización de partículas ayudó a transformar ideas abstractas en modelos interpretables. Esta conclusión dialoga con Palacios, Pascual y Moreno-Mediavilla (2024), quienes sostienen que las simulaciones favorecen aprendizajes conceptuales y competencias científicas siempre que estén acompañadas por una metodología de indagación guiada.

La diferencia significativa reportada por la prueba t de Student coincide con Batamuliza, Habinshuti y Nkurunziza (2024), quienes encontraron que las simulaciones interactivas mejoran desempeño y retención en reacciones químicas. También se relaciona con Bazie, Lemma, Workneh y Estifanos (2024), quienes evidenciaron que los laboratorios virtuales pueden mejorar el rendimiento en química frente a enfoques centrados en explicación. En el presente artículo, el grupo experimental no solo obtuvo mayor media final, sino que presentó avances en balanceo, conservación de masa, interpretación molecular y aplicación de Le Châtelier. Esto sugiere que SimuQuim RA-BGU actuó como un puente cognitivo entre representación visual, procedimiento y explicación.

Los hallazgos sobre correlación entre interacción con el simulador y desempeño son coherentes con Alhashem y Alfaiakawi (2023), quienes destacan el valor de los laboratorios virtuales cuando se integran antes y durante actividades prácticas. La relación positiva entre número de predicciones registradas y argumentación química indica que el aprendizaje no dependió de la manipulación libre, sino de la pregunta pedagógica. De manera semejante, Rayan, Daher, Diab e Issa (2023) sostienen que las simulaciones PhET favorecen la construcción de explicaciones cuando el estudiante puede explorar y verbalizar lo que observa. Diab, Daher, B. Rayan, Issa y A. Rayan (2024) agregan que el razonamiento mejora cuando el recurso digital exige justificar respuestas y no solo seleccionar opciones.

El efecto muy grande en equilibrio químico dialoga con Lubis, Ellizar, Zainul y Nizar (2022), quienes validaron un módulo de equilibrio químico con laboratorio virtual integrado al modelo 5E. También se conecta con Novia e Ikhsan (2026), quienes reportaron mejoras en habilidades de proceso científico mediante realidad aumentada y laboratorio virtual para equilibrio químico. En ambos casos, al igual que en este estudio, la clave no fue presentar información en formato digital, sino permitir que el estudiante observe relaciones dinámicas. El equilibrio químico suele ser malinterpretado como

detención de la reacción; por ello, ver partículas en movimiento y concentraciones estabilizadas facilita comprender que el equilibrio es dinámico.

La dimensión de transferencia de conceptos mostró un tamaño del efecto grande, lo cual resulta especialmente valioso porque la transferencia es uno de los indicadores más exigentes del aprendizaje científico. Byusa, Kampire y Mwesigye (2022) explican que los enfoques activos y lúdicos favorecen motivación y comprensión conceptual en química. Fitriyana, Ikhsan y Satria (2025) indican que los laboratorios virtuales pueden fortalecer independencia y logro académico en entornos combinados. Kolil y Achuthan (2024) sostienen que estos ambientes promueven habilidades de laboratorio y conciencia educativa cuando el estudiante toma decisiones durante la actividad. En el presente estudio, la transferencia se favoreció porque los estudiantes aplicaron variables de equilibrio a casos nuevos y no se limitaron a repetir ejemplos resueltos.

Los resultados también deben leerse desde la política educativa y la inclusión digital. La UNESCO (2023a) advierte que la tecnología educativa requiere condiciones de acceso, gobernanza y preparación docente. La CEPAL, a través de Herrera, Huepe y Trucco (2025), señala que la brecha digital involucra competencias y apropiación, no solo dispositivos. El Ministerio de Educación del Ecuador (2021, 2023) plantea la integración de tecnologías para fortalecer aprendizaje, innovación y competencias digitales. Desde este marco, SimuQuim RA-BGU es pertinente porque puede adaptarse a instituciones con limitaciones de laboratorio, siempre que exista planificación, acompañamiento y evaluación. El recurso digital no soluciona por sí mismo la desigualdad, pero puede ampliar oportunidades si se implementa con sentido pedagógico.

La validación por expertos fortaleció la propuesta porque permitió revisar si las actividades respondían a destrezas reales del currículo y si la secuencia era viable en Bachillerato. En este punto, la investigación coincide con Jammeh, Karegeya y Ladage (2024), quienes resaltan la importancia del conocimiento tecnológico-pedagógico del contenido en química. No basta con que el docente conozca la herramienta; necesita saber cuándo usarla, qué pregunta formular, qué error anticipar y cómo convertir la observación del estudiante en explicación científica. Asimismo, Miao y Holmes (2023) recuerdan que las tecnologías emergentes deben orientarse a una visión centrada en las personas, por lo que la innovación debe estar al servicio del aprendizaje y no al revés.

En conjunto, los resultados se alinean con la evidencia reciente que defiende el uso de simuladores virtuales cuando existe guía docente, secuencia didáctica, retroalimentación y evaluación de destrezas, no solo exposición tecnológica.

Conclusiones

La intervención con SimuQuim RA-BGU mostró una incidencia positiva en la comprensión de reacciones químicas y equilibrio químico en estudiantes de Bachillerato. El grupo experimental superó al grupo control en las dimensiones macroscópica, submicroscópica, simbólica e interrelacional, con diferencias estadísticamente significativas y tamaños del efecto grandes o muy grandes. Estos resultados permiten sostener que los simuladores virtuales, cuando se articulan con predicción, manipulación de variables, explicación guiada y retroalimentación, favorecen una comprensión más profunda de fenómenos químicos que tradicionalmente resultan abstractos. La contribución científica del estudio se centra en evidenciar que la mejora no se limita al aumento de puntajes, sino que se expresa en destrezas: representar partículas, balancear con sentido, interpretar equilibrio dinámico, justificar desplazamientos y transferir conceptos a situaciones nuevas.

La propuesta didáctica validada por expertos ofrece una ruta aplicable para integrar simuladores virtuales en el Bachillerato sin desatender el rol docente ni la evaluación formativa. Su valor radica en convertir la tecnología en una mediación para pensar químicamente, no en una actividad aislada de entretenimiento digital. Desde una perspectiva educativa, SimuQuim RA-BGU puede contribuir a reducir brechas de acceso a experiencias experimentales, fortalecer competencias digitales y promover aprendizajes científicos más inclusivos. Se recomienda que futuras investigaciones apliquen la propuesta con muestras más amplias, incorporen seguimiento longitudinal y comparen la combinación de laboratorio virtual y laboratorio físico, a fin de valorar la permanencia del aprendizaje y el desarrollo integral de habilidades experimentales.

Referencias

- Alhashem, F., & Alfaiakawi, A. (2023). Technology-enhanced learning through virtual laboratories in chemistry education. *Contemporary Educational Technology*, 15(4), Article ep474. <https://doi.org/10.30935/cedtech/13739>
- Batamuliza, J., Habinshuti, G., & Nkurunziza, J. B. (2024). Integration of interactive computer simulations in teaching and learning chemical reaction: Students'

- performance and concept retention. *Journal of Technology and Science Education*, 14(4), 1060-1072. <https://doi.org/10.3926/jotse.2682>
- Bazie, H., Lemma, B., Workneh, A. W., & Estifanos, A. (2024). The effect of virtual laboratories on the academic achievement of undergraduate chemistry students: Quasi-experimental study. *JMIR Formative Research*, 8, Article e64476. <https://doi.org/10.2196/64476>
- Byusa, E., Kampire, E., & Mwesigye, A. R. (2022). Game-based learning approach on students' motivation and understanding of chemistry concepts: A systematic review of literature. *Heliyon*, 8(5), Article e09541. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e09541>
- Castro, R. R. (2025). The effects of chemistry virtual laboratories in academic achievement of secondary level learners: A meta-analysis. *Integrated Science Education Journal*, 6(1), 24-37. <https://doi.org/10.37251/isej.v6i1.1379>
- Diab, H., Daher, W., Rayan, B., Issa, N., & Rayan, A. (2024). Transforming science education in elementary schools: The power of PhET simulations in enhancing student learning. *Multimodal Technologies and Interaction*, 8(11), Article 105. <https://doi.org/10.3390/mti8110105>
- Fitriyana, N., Ikhsan, J., & Satria, A. (2025). Promoting students' learning independence and achievement through the use of virtual chemistry laboratory in blended online learning. *Journal of Engineering Education Transformations*, 37(3), 72-85. <https://doi.org/10.16920/jeet/2024/v37i3/24005>
- Herrera, P., Huepe, M., & Trucco, D. (2025). Educación y desarrollo de competencias digitales en América Latina y el Caribe. *Comisión Económica para América Latina y el Caribe*.
- Jammeh, A. L. J., Karegeya, C., & Ladage, S. (2024). Application of technological pedagogical content knowledge in smart classrooms: Views and its effect on students' performance in chemistry. *Education and Information Technologies*, 29, 9189-9219. <https://doi.org/10.1007/s10639-023-12158-w>
- Kolil, V. K., & Achuthan, K. (2024). Virtual labs in chemistry education: A novel approach for increasing student's laboratory educational consciousness and skills. *Education and Information Technologies*, 29, 25307-25331. <https://doi.org/10.1007/s10639-024-12858-x>

- Lakens, D. (2022). Sample size justification. *Collabra: Psychology*, 8(1), Article 33267. <https://doi.org/10.1525/collabra.33267>
- Lubis, A. P., Ellizar, E., Zainul, R., & Nizar, U. K. (2022). Development of chemical equilibrium e-module guided by 5E instructional model with interactive virtual laboratory. *Jurnal Pendidikan MIPA*, 23(1), 256-265. <https://doi.org/10.23960/jpmipa/v23i1.pp256-265>
- Miao, F., & Holmes, W. (2023). Guidance for generative AI in education and research. UNESCO.
- Ministerio de Educación del Ecuador. (2021). Agenda Educativa Digital 2021-2025. Ministerio de Educación del Ecuador.
- Ministerio de Educación del Ecuador. (2023). Bachillerato: Pensamiento computacional. Ministerio de Educación del Ecuador.
- Novia, R. R. R., & Ikhsan, J. (2026). The development of an augmented reality-based virtual reality laboratory on chemical equilibrium material to increase science process skills. *International Journal of Multicultural and Multireligious Understanding*, 13(2). <https://doi.org/10.18415/ijmmu.v13i2.7378>
- Palacios, A., Pascual, V., & Moreno-Mediavilla, D. (2024). Methodological design in the use of virtual simulations in chemistry: A systematic review. *Journal of Technology and Science Education*, 14(3), 701-719. <https://doi.org/10.3926/jotse.2357>
- Rahmawati, Y., Zulhipri, Hartanto, O., Falani, I., & Iriyadi, D. (2022). Students' conceptual understanding in chemistry learning using PhET interactive simulations. *Journal of Technology and Science Education*, 12(2), 303-326. <https://doi.org/10.3926/jotse.1597>
- Rayan, B., Daher, W., Diab, H., & Issa, N. (2023). Integrating PhET simulations into elementary science education: A qualitative analysis. *Education Sciences*, 13(9), Article 884. <https://doi.org/10.3390/educsci13090884>
- UNESCO. (2023a). Global education monitoring report 2023: Technology in education: A tool on whose terms? UNESCO.
- UNESCO. (2023b). Guidance for generative AI in education and research. UNESCO.

Declaración

Declaración	Detalle
Conflicto de intereses	No existe conflicto de interés.
Financiamiento	No existió financiamiento externo.
Agradecimiento	N/A
Nota	No es publicación anterior.