



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN, VINCULACIÓN Y POSGRADO

DIRECCIÓN DE POSGRADO

Uso de laboratorio virtual en la enseñanza de Química en los estudiantes de bachillerato de la Unidad Educativa “Cocán” periodo 2024-2025.

Trabajo de titulación para optar por al título de:

Magister en Pedagogía de las Ciencias
Experimentales, Mención Química y Biología

AUTORA:

Roldán Bravo Nancy Piedad

TUTORA:

Dra. Orrego Riofrío Monserrat Catalina.

Riobamba, Ecuador. 2026



Dirección de
Posgrado
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN,
VINCULACIÓN Y POSGRADO



Declaración de Autoría y Cesión de Derechos

Yo, **Nancy Piedad Roldan Bravo**, con número único de identificación **060481076-2**, declaro y acepto ser responsable de las ideas, doctrinas, resultados y lineamientos alternativos realizados en el presente trabajo de titulación denominado: **“Uso de laboratorio virtual en la enseñanza de química en los estudiantes de bachillerato de la Unidad Educativa Cocán periodo 2024-2025.”**, previo a la obtención del grado de Magister en Pedagogía de las Ciencias Experimentales, Mención Química y Biología.

- Declaro que mi trabajo investigativo pertenece al patrimonio de la Universidad Nacional de Chimborazo de conformidad con lo establecido en el artículo 20 literal j) de la Ley Orgánica de Educación Superior LOES.
- Autorizo a la Universidad Nacional de Chimborazo que pueda hacer uso del referido trabajo de titulación y a difundirlo como estime conveniente por cualquier medio conocido, y para que sea integrado en formato digital al Sistema de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor, dando cumplimiento de esta manera a lo estipulado en el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior LOES.

Riobamba, marzo de 2026



Nancy Piedad Roldan Bravo
C.I 060481076- 2



Av. Elcy Alfaro y 10 de Agosto
Teléfono (593-3) 373-0880, ext. 2100 - 2103 - 2217
Riobamba - Ecuador
Unach.edu.ec



Dirección de
Posgrado

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN,
VINCULACIÓN Y POSGRADO



ACTA DE CULMINACIÓN DE TRABAJO DE TITULACIÓN

En la ciudad de Riobamba, a los 20 días del mes de febrero del año 2026, los miembros del Tribunal designado por la Comisión de Posgrado de la Universidad Nacional de Chimborazo, reunidos con el propósito de analizar y evaluar el Trabajo de Titulación bajo la modalidad Proyecto de titulación con componente investigación aplicada y/o desarrollo, CERTIFICAMOS lo siguiente:

Que, una vez revisado el trabajo titulado: "Uso de laboratorio virtual en la enseñanza de Química en los estudiantes de Bachillerato de la Unidad Educativa Cocán Período 2024-2025." perteneciente a la línea de investigación: Ciencias de la Educación y formación profesional /no profesional. Enseñanza - aprendizaje profesional y no profesional, presentado por el maestrante Roldan Bravo Nancy Piedad, portador de la cédula de ciudadanía No. 0604810762, estudiante del programa de Maestría en Pedagogía de las Ciencias Experimentales, Mención Química y Biología, se ha verificado que dicho trabajo cumple al 100% con los parámetros establecidos por la Dirección de Posgrado de la Universidad Nacional de Chimborazo.

Es todo cuanto podemos certificar, en honor a la verdad y para los fines pertinentes.

Atentamente,

Mgs. Monserrat
Orrego

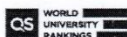
TUTOR

Mgs. Luis Mera

**MIEMBRO DEL
TRIBUNAL 1**

Mgs. Elena Urquiza

**MIEMBRO DEL
TRIBUNAL 2**



Campus La Dolorosa
Av. Eloy Alfaro y 10 de Agosto
Teléfono (593-3) 373-0880, ext. 2002
Riobamba - Ecuador

Unach.edu.ec
en colaboración



Dirección de
Posgrado
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN,
VINCULACIÓN Y POSGRADO



Riobamba, 24 de FEBRERO de 2026

CERTIFICADO

De mi consideración:

Yo Monserrat Orrego Riofrío, certifico que Roldán Bravo Nancy Piedad, con cédula de identidad No. O60481076- 2 estudiante del programa de Maestría en MAESTRÍA EN PEDAGOGÍA DE LAS CIENCIAS EXPERIMENTALES, MENCIÓN QUÍMICA Y BIOLOGÍA MODALIDAD HÍBRIDA, PERIODO 2024 2S, cohorte 4Ta, presentó su trabajo de titulación bajo la modalidad de Proyecto de titulación con componente de investigación aplicada/desarrollo denominado: **USO DE LABORATORIO VIRTUAL EN LA ENSEÑANZA DE QUÍMICA EN LOS ESTUDIANTES DE BACHILLERATO DE LA UNIDAD EDUCATIVA COCÁN PERIODO 2024-2025**, el mismo que fue sometido al sistema de verificación de similitud de contenido COMPILATION identificando el porcentaje de similitud 2% en el texto y el porcentaje de similitud del 7% en inteligencia artificial.

Es todo en cuanto puedo certificar en honor a la verdad.

Atentamente,



Firmado electrónicamente por:
**MONSERRAT CATALINA
ORREGO RIOFRÍO**
Validar documento con FirmadC

Monserrat Orrego Riofrío

CI: 0602666745

Adj.-

- Resultado del análisis de similitud(Compilation)



sgludable

Av. Eloy Alfaro y 10 de Agosto
Teléfono (593-3) 373-0880, ext. 2100 - 2103 - 2217
Riobamba - Ecuador
Unach.edu.ec
en movimiento

Agradecimiento

A Dios por su bendición además a mis hijas, cuya alegría y fortaleza llenaron de sentido cada paso de este proceso. Su amor fue mi mayor impulso para continuar y culminar esta meta.

A mi esposo, compañero fiel e incondicional, por su comprensión, paciencia y apoyo constante. Gracias por creer en mí y acompañarme en cada desafío.

Y a mí misma, por la decisión de seguir creciendo, por no rendirme y por trabajar con dedicación para mejorar mi vida profesional y personal. Este logro es también un recordatorio de mi capacidad, esfuerzo y perseverancia.

Con profundo cariño y gratitud, dedico este triunfo a quienes me inspiran y a la mujer que sigo construyendo cada día.

Roldán Bravo Nancy Piedad

Dedicatoria

A Dios, por darme la fortaleza, la salud y la sabiduría que necesité para continuar este camino y no rendirme.

A mis hijas, por su cariño, su paciencia y por entender mis ausencias mientras estudiaba. Ellas son mi motivo más grande y la razón por la que sigo luchando cada día.

A mi esposo, por su apoyo incondicional, por animarme siempre y estar a mi lado en los momentos buenos y difíciles. Gracias por creer en mí cuando más lo necesitaba.

A mi familia, por sus palabras de aliento y por acompañarme con tanto cariño en todo este proceso.

A mi tutora de tesis, por su guía, por su paciencia y por acompañarme paso a paso durante todo el proceso de investigación. Su apoyo fue fundamental para concluir este trabajo.

A todos los profesores de la maestría, por compartir sus conocimientos y por ayudarnos a crecer profesional y personalmente.

Roldán Bravo Nancy Piedad

Índice General

Declaración de Autoría y Cesión de Derechos	ii
Acta de Culminación de Trabajo de Titulación.....	iii
Certificado de Antiplagio.....	iv
Agradecimiento.....	v
Dedicatoria	vi
Índice General.....	vii
Índice de Tablas	x
Índice de Figuras	xi
Resumen	xii
Abstract	xiii
Introducción	1
Capítulo 1 Generalidades.....	3
1.1 Planteamiento del problema	3
1.2 Formulación del problema	4
1.3 Justificación de la Investigación.....	4
1.4. Objetivos.....	6
1.6.1 Objetivo General.....	6
1.6.2 Objetivos Específicos.....	6
Capítulo 2 Estado del Arte y la Práctica	7
2.1 Antecedentes Investigativos	7
2.2 Consideraciones legales normativas	10
2.2.1 Nivel Internacional.....	10
2.2.2 Nivel nacional	11
2.2.3 Nivel local.....	13

2.3	Fundamentación Teórica	13
2.3.1	La Enseñanza de la Química.....	13
2.3.2	Aprendizaje activo y constructivismo.....	24
2.3.3	Laboratorios Virtuales y Simulaciones Interactivas como Herramienta Didáctica 26	
2.3.4	Simulaciones Interactivas PhET.....	29
2.3.5	Impacto de los Laboratorios Virtuales en el Aprendizaje de las Ciencias.....	32
2.3.6	Contexto y Factores Críticos para la Implementación en Entornos de Recursos Limitados	37
2.3.7	Estrategias para la implementación exitosas	40
Capítulo 3 Diseño Metodológico.....		42
3.1	Enfoque de la Investigación	42
3.2	Diseño de la Investigación.....	43
3.3	Tipo de investigación.....	43
3.4	Nivel de Investigación.....	44
3.5	Técnicas e Instrumentos de recolección de datos	45
3.6	Población y Muestra	45
3.6.1	Población.....	45
3.6.2	Tamaño de la Muestra.....	47
3.7	Hipótesis	48
3.7.1	Hipótesis de investigación (H_1).....	48
3.7.2	Hipótesis nula (H_0).....	48
Capítulo 4 Análisis y Discusión de los Resultados		49
4.1	Análisis Descriptivo de los Resultados	49
4.2	Discusión de los Resultados	73

Capítulo 5 Marco Propositivo	75
5.1 Planificación de la Actividad Preventiva.....	75
5.1.1. Introducción.....	75
5.1.1 Objetivo General de la Propuesta	75
5.1.2 Objetivos Específicos.....	75
5.2 Contenido de la propuesta	75
5.2.1 Enlace.....	75
5.2.2 Código QR	76
Conclusiones.....	77
Recomendaciones.....	78
Referencias Bibliográficas	79
Apéndice A. Cuestionario	87

Índice de Tablas

Tabla 1 <i>Características de Población y Muestra</i>	45
Tabla 2 <i>Desempeño en Pruebas de Comprensión Conceptual</i>	50
Tabla 3 <i>Niveles de Interés hacia la Química</i>	51
Tabla 4 <i>Facilidad de Uso de las Simulaciones PhET</i>	53
Tabla 5 <i>Capacidad de Resolución de Problemas</i>	55
Tabla 6 <i>Uso de Herramientas de Medición</i>	56
Tabla 7 <i>Conexión Teoría-Práctica</i>	57
Tabla 8 <i>Diseño de experimento virtual (evaluación cualitativa categorizada)</i>	59
Tabla 9 <i>Análisis de datos de simulación de pH</i>	60
Tabla 10 <i>Interpretación de gráficos de simulaciones</i>	62
Tabla 11 <i>Las simulaciones PhET hacen que el aprendizaje sea más comprensible</i>	64
Tabla 12 <i>Uso de herramientas de medición</i>	67
Tabla 13 <i>Aplicación de conocimientos previos</i>	68
Tabla 14 <i>Aplicación de conocimientos previos</i>	70
Tabla 15 <i>Participación activa en actividades</i>	71

Índice de Figuras

Figura 1 <i>Desempeño en Pruebas de Comprensión Conceptual</i>	50
Figura 2 <i>Niveles de interés hacia la química.</i>	52
Figura 3 <i>Facilidad de uso de las simulaciones PhET.</i>	54
Figura 4 <i>Capacidad de resolución de problemas.</i>	55
Figura 5 <i>Uso de Instrumentos de Medición.</i>	57
Figura 6 <i>Enlace Teoría-Práctica.</i>	58
Figura 7 <i>Diseño de Experimentos Virtuales.</i>	59
Figura 8 <i>Datos de simulación de pH.</i>	61
Figura 9 <i>Interpretación de Gráficos de Simulaciones</i>	63
Figura 10 <i>Opinión sobre Entendimiento a través de Simulaciones.</i>	64
Figura 11 <i>Comprensión de representaciones visuales.</i>	66
Figura 12 <i>Comprensión de representaciones visuales.</i>	67
Figura 13 <i>Utilización de Instrumentos de Medición.</i>	69
Figura 14 <i>Uso de conocimientos previos.</i>	70
Figura 15 <i>Participación Activa en Actividades.</i>	72

Resumen

Esta investigación aborda el problema de la enseñanza de la Química en el bachillerato de la Unidad Educativa Cocán (Ecuador), caracterizada por su enfoque teórico-memorístico y la ausencia de laboratorios físicos, lo que genera dificultades de comprensión conceptual y desmotivación en los estudiantes. El objetivo general fue comprobar el impacto del uso de laboratorios virtuales PhET en el aprendizaje, mediante objetivos específicos como proponer actividades interactivas, fortalecer la conexión teoría-práctica y evaluar el aprendizaje antes y después de la intervención. La metodología siguió un diseño cuantitativo preexperimental con pretest y postest en un solo grupo de 40 estudiantes, utilizando un cuestionario para medir comprensión conceptual, razonamiento científico y actitudes. Los resultados demostraron una mejora estadísticamente significativa de 34.6 puntos en el rendimiento académico, con un tamaño del efecto grande (d de Cohen = 1.84), y un cambio positivo del 105% en el interés hacia la Química, revirtiendo la desmotivación inicial. La principal conclusión es que los laboratorios virtuales PhET son una alternativa viable y poderosa para mejorar el aprendizaje y la motivación en contextos con recursos limitados. Se recomienda institucionalizar su uso mediante guías didácticas alineadas al currículo y fomentar comunidades de práctica docente para replicar esta experiencia en otras áreas científicas.

Palabras Clave: *Laboratorios Virtuales, Enseñanza de la Química, Simulaciones PhET, Aprendizaje Significativo, Educación Rural*

ABSTRACT

This research addresses the problem of teaching Chemistry at the Unidad Educativa Cocán (Ecuador), characterized by a theoretical-memorization approach and the absence of physical laboratories, which create difficulties in conceptual understanding and student demotivation. The general objective was to verify the impact of using PhET virtual laboratories on learning, through specific objectives such as proposing interactive activities, strengthening the theory-practice connection, and evaluating learning before and after the intervention. The methodology followed a pre-experimental quantitative design with a pretest and posttest in a single group of 40 students, using a questionnaire to measure conceptual understanding, scientific reasoning, and attitudes. The results showed a statistically significant improvement of 34.6 points in academic performance, with a large effect size (Cohen's $d = 1.84$), and a positive change of 105% in interest towards Chemistry, reversing the initial demotivation. The main conclusion is that PhET virtual laboratories are a viable and powerful alternative for improving learning and motivation in resource-limited contexts. It is recommended to institutionalize their use through teaching guides aligned with the curriculum and to promote communities of teaching practice to replicate this experience in other scientific areas.

Keywords: Virtual Laboratories, Chemistry Teaching, PhET Simulations, Meaningful Learning, Rural Education



Reviewed by:

Mgs. Sofia Freire Carrillo

ENGLISH PROFESSOR

C.C. 0604257881

Introducción

La enseñanza de Química en el Bachillerato General Unificado es un verdadero dolor de cabeza, con toneladas de obstáculos que dificultan realmente aprender las cosas científicas. Aunque intentaron mezclar algunas cosas nuevas, las formas de la vieja escuela todavía se basan en el aprendizaje de memoria, hacer lo mismo una y otra vez y hacer cálculos sin ensuciarse las manos. Estudios de todo el mundo muestran que cuando las clases de ciencias se basan exclusivamente en conferencias y no conectan lo aprendido con la vida real, los estudiantes no hacen lo mismo bueno como dicen (Sarıkaya & Aydin, 2021). De esta manera, utilizar la tecnología y la comunicación en la enseñanza es muy clave para que el aprendizaje en clase realmente cuente (Cabero-Almenara & Llorente-Cejudo, 2020).

En los últimos años, las escuelas y universidades de todo el mundo han comenzado a utilizar dispositivos tecnológicos para mejorar aún más el aprendizaje práctico. Entre estas nuevas ideas interesantes, los laboratorios virtuales y los simuladores interactivos son los verdaderos MVP para brindarnos lugares seguros, económicos y súper atractivos para hacer cosas científicas (Santos et al., 2022). En esta situación, el simulador PhET, fabricado por la Universidad de Colorado, es una excelente ayuda didáctica para la química. Te permite ver lo pequeño y lo grande, cosas en acción, que los pone a todos manos a la obra y a pensar, lo que les hace generar ideas y comprender realmente los conceptos (Wieman & Perkins, 2020).

En América Latina y, particularmente, en Ecuador, la enseñanza de la Química enfrenta dificultades estructurales como la falta de laboratorios equipados, materiales insuficientes y condiciones inadecuadas para la experimentación práctica (Ministerio de Educación de Ecuador, 2023). Estos límites son mucho más obvios en las escuelas rurales, donde no tienen mucho con qué trabajar. La falta de equipo científico de la Unidad Educativa Cocán frena el aprendizaje práctico y afecta un poco el impulso y las calificaciones de los estudiantes (Guamán, 2024).

Dada esta escena, usar el simulador PhET es una forma nueva e interesante de impulsar el aprendizaje de Química. Esta herramienta en línea te permite jugar con variables, observar los resultados a medida que ocurren y realmente dominar las cosas, lo que hace que sea más fácil pasar de simplemente leer sobre ello a hacerlo realmente (Ramírez & Torres, 2023). Además, hace que la enseñanza sea súper segura, fácil de aprender y divertida, lo que

aumenta totalmente la vibra de los estudiantes y su amor por la ciencia (Valverde-Berrocoso et al., 2021).

En este sentido, estamos comprobando cómo el uso del simulador PhET como espacio de laboratorio virtual ayuda a los estudiantes de la Unidad Educativa “Cocán” aprender mejor durante 2024-2025. El objetivo principal es mejorar la inteligencia y las calificaciones, además de entusiasmar a los niños con la ciencia al mezclar la tecnología en el aula. Se trata de mostrar cómo el uso de la tecnología en la enseñanza puede cambiar totalmente las clases de ciencias y hacer que el aprendizaje sea mucho más interesante, abierto y valioso.

Capítulo 1

Generalidades

1.1 Planteamiento del problema

Las clases de Química en la escuela secundaria están un poco equivocadas cuando se trata de enseñar las grandes ideas y lo que los estudiantes realmente obtienen de ellas. Son en su mayoría solo conferencias y no suficiente material práctico lo que ayuda a construir una forma más conectada de pensar sobre la ciencia. Según Alhashem y Alfaiakawi (2023), el uso de laboratorios virtuales puede mejorar la actitud y el compromiso en la práctica de las clases de química, lo que sugiere la necesidad de rediseñar las metodologías tradicionales.

En contextos de recursos limitados, especialmente en zonas rurales de América Latina, la falta de laboratorios equipados y materiales didácticos se traduce en un deficiente acceso a experiencias presenciales de laboratorio, lo que impacta la motivación de los estudiantes y su rendimiento académico en Química. Zhang et al. (2024) y el equipo descubrieron que los espacios virtuales son muy útiles para evitar los problemas del mundo real, pero hay que mezclar bien el material didáctico.

Los estudios modernos sobre laboratorios virtuales (V-Labs) y simulaciones interactivas muestran que estos dispositivos son excelentes para realizar experimentos seguros y repetibles, lo que reduce las molestias y los gastos. Pero también señalan que la forma en que se configuran y utilizan estos simuladores en la enseñanza puede realmente hacer o deshacer lo que los estudiantes aprenden (Bazie, H. et al., 2024).

Estudios centrados en plataformas virtuales en el campo de la Química indican mejoras en la comprensión conceptual, la actitud hacia la ciencia y la capacidad de razonamiento experimental, cuando se utilizan simulaciones con actividades de indagación guiada; Sin embargo, la evidencia empírica en contextos latinoamericanos, y específicamente en Ecuador, sigue siendo limitada, generando una brecha de conocimiento local relevante. Entonces, este estudio realizado por Bazie et al. (2024) en una universidad encontró que las simulaciones virtuales son bastante buenas, pero aun así dicen que los laboratorios de la vida real son mucho mejores.

Los principales obstáculos para lograr laboratorios virtuales insuficiencia de ancho de banda y tecnología, maestros que no están al día, vibraciones de enseñanza de la vieja escuela y no tener buenos planes de lecciones compatibles con lo digital. Se trata de mezclar

conocimientos tecnológicos y estilos de enseñanza. Un artículo de Deriba et al. (2024) señalan que la estrategia de implementación y la política institucional son tan importantes como la tecnología misma en la efectividad de los V-Labs.

En la Unidad Educativa Cocán, en un entorno rural ecuatoriano, la ausencia de equipo de laboratorio adecuado dificulta que los estudiantes vinculen lo que aprenden con experimentos prácticos, lo que hace que el aprendizaje sea menos atractivo y más desconectado del mundo real. Esta situación realmente exige comprobar si el uso de algo como la plataforma PhET puede ayudar a cerrar la brecha entre lo que aprendemos y cómo lo aplicamos en la vida real.

A pesar del creciente interés y volumen de publicaciones sobre laboratorios virtuales, persiste la necesidad de estudios empíricos en educación secundaria que utilicen diseños cuasiexperimentales, instrumentos validados para medir la comprensión conceptual y las actitudes, y que incluyan análisis cualitativos sobre la percepción docente-alumno; Sólo así se podrá determinar con mayor certeza la eficacia y los mecanismos pedagógicos detrás del uso de simuladores. Banda y Nzabahimana (2023) señalan que cuando los V-Labs se configuran con un plan de enseñanza sólido, realmente amplifican el juego de aprendizaje, pero todavía nos faltan datos sólidos para los estudiantes de bachillerato.

1.2 Formulación del problema

¿Cuál es el impacto de la implementación del uso de laboratorios virtuales en la enseñanza de Química en los estudiantes de primero de Bachillerato General Unificado de la Unidad Educativa “Cocán” durante el periodo 2024-2025?

1.3 Justificación de la Investigación

Esta investigación tiene como objetivo cambiar la enseñanza de la Química, especialmente donde los recursos son escasos, y está respaldada por ciencia sólida que demuestra que podemos hacerlo mejor. Como lo documentan Alhashem y Alfaiakawi (2023), los laboratorios virtuales pueden mejorar la actitud y el compromiso de los estudiantes en ciencias, lo que refuerza la naturaleza práctica-innovadora de la propuesta.

Además, la investigación ayuda a nivelar el campo de juego en la educación, porque en el campo y en lugares donde los laboratorios de ciencias son un poco básicos, los simuladores virtuales pueden garantizar que todos tengan una oportunidad en las cosas

científicas. Deriba et al. (2024), consideran que V-Labs podría cambiar las reglas del juego para los grupos subrepresentados si los peces gordos lo respaldan.

Desde la formación de docentes, el estudio revela cómo usar simuladores en la enseñanza, no solo como dispositivos tecnológicos sino como herramientas de enseñanza planificadas. En el trabajo de Bazie et al. (2024), notaron que los laboratorios virtuales pueden sustituir totalmente a los reales cuando sea necesario, lo que significa que debemos aprender algunas habilidades nuevas para enseñar.

Esta investigación realiza una verificación local para ver cómo se compara con los grandes hallazgos internacionales, especialmente en Ecuador y en las instituciones educativa. Tal como señalaba Banda y Nzabahimana (2023), mencionaron que todavía no tenemos suficiente investigación sobre V-Labs en las escuelas secundarias y necesitamos más información que se ajuste a la situación específica para que se aplique a todos.

El estudio identificará las formas más apropiadas de diseñar y organizar actividades de simulación —como orientación, exploración y desarrollo de tareas— a fin de mejorar significativamente el aprendizaje sobre Química. Según el análisis realizado por Alhashem y Alfaiakawi (2023), aunque el uso de laboratorios virtuales mejora significativamente las actitudes de los estudiantes, El impacto real en la comprensión de los contenidos técnicos depende en gran medida de un diseño pedagógico adecuado del laboratorio virtual y su articulación adecuada con las prácticas presenciales.

Los simuladores constituyen una herramienta didáctica eficaz para dinamizar el aprendizaje de las ciencias, ya que favorecen la motivación y el interés de los estudiantes, promoviendo su participación activa y el desarrollo del pensamiento científico. Según Samosir et al. (2025), los entornos virtuales pueden aumentar la motivación y las habilidades críticas de los estudiantes al ofrecer una experiencia interactiva y flexible.

Desde el ángulo del crecimiento y de mantenerlo verde, el estudio le da a la escuela y a todo el sistema educativo algo en qué pensar sobre subirse al tren del laboratorio virtual, sopesando lo que necesitan para que funcione y los contratiempos que podrían encontrar en el camino. Zhang et al. (2024), dicen que la forma en que se formulan las políticas y el respaldo que obtienen son clave para que los V-Labs funcionen.

La metodología utilizada se basa en un enfoque cuantitativo, con un diseño pre experimental aplicado a un solo grupo de estudiantes, a quienes se les aplica un pretest y un posttest con el fin de medir su aprendizaje antes y después del uso del simulador PhET.

Asimismo, se recoge información sobre el nivel de motivación e interés mediante una encuesta. Esta investigación trata de recopilar datos para ver cómo los laboratorios en línea afectan a las calificaciones de los estudiantes y sus sentimientos sobre el tema. Los resultados también podrían ser una guía útil para profesores, coordinadores de área y otros profesionales en entornos educativos similares. ayudarles a ajustar esta idea para adaptarse al ambiente latinoamericano. Como indican Alhashem y Alfaiakawi (2023), la investigación aplicada sobre los laboratorios virtuales contribuye a ampliar el conocimiento general acerca de la enseñanza de las ciencias apoyada en las tecnologías de la información y la comunicación.

1.4. Objetivos

1.6.1 Objetivo General

- Comprobar el impacto del uso de laboratorios virtuales de Química en el aprendizaje de los estudiantes de bachillerato.

1.6.2 Objetivos Específicos

- Diseñar una propuesta didáctica basada en el uso de laboratorios virtuales PhET para la enseñanza de contenidos de Química en estudiantes de primero de bachillerato.
- Diagnosticar la comprensión conceptual, razonamiento científico y actitud hacia la asignatura de Química antes de la implementación del laboratorio virtual.
- Aplicar y evaluar la implementación de actividades experimentales mediante el laboratorio virtual PhET, para determinar su impacto en el aprendizaje y la motivación estudiantil.

Capítulo 2

Estado del Arte y la Práctica

2.1 Antecedentes Investigativos

La educación en Química en el nivel de bachillerato ha estado históricamente caracterizada por ser teórica y memorística, lo cual dificultaba a los estudiantes entender conceptos y desarrollar habilidades científicas (Sarıkaya & Aydın, 2021). Esta situación se vuelve más crítica en contextos de pobreza, como muchas escuelas rurales en Latinoamérica y específicamente en el Ecuador, pues no cuentan con laboratorios físicos ni materiales didácticos que les permitan el acceso a prácticas experimentales fundamentales (Ministerio de Educación del Ecuador, 2023; Kolloff & Rienäcker, 2023). Las consecuencias de la desconexión entre la teoría abstracta y la experimentación práctica es una de las barreras más importantes para el aprendizaje significativo en ciencias (Bazie et al., 2024). Ante esto, la integración de las herramientas digitales en la enseñanza de las ciencias no es una alternativa, sino se convierte en una necesidad pedagógica para evitar las limitaciones estructurales y potenciar los procesos de enseñanza-aprendizaje (Cabero-Almenara & Llorente-Cejudo, 2020).

En ese sentido, los laboratorios virtuales y las simulaciones interactivas se perfilan como una solución pedagógica con alto potencial. Expresaron sus beneficios a través de estudios realizados en el extranjero. Santos et al. (2022) consideran que estas plataformas proporcionan un ambiente seguro, económico y flexible para realizar experimentos; además, permiten visualizar fenómenos a nivel microscópico, brindan la oportunidad de manipular variables y observar resultados de maneras que no se pueden lograr en un laboratorio natural por motivos de costo, seguridad o tiempo. La plataforma de Simulación Interactiva PhET, creada por la universidad de Colorado en Boulder, Es un estudio mundialmente famoso como los de Wieman y Perkins (2020) y Wieman et al. (2022) revelan que el uso de simulaciones ayuda a los estudiantes a comprender mejor los conceptos científicos y recordarlos más tiempo que simplemente mostrarles cosas.

La literatura científica está de acuerdo en que los laboratorios virtuales no solo logran una comprensión conceptual. Estudios como los de Alhashem, A., & Alfaiakawi, A. (2023). Valverde - Berrocoso et al. (2021) han demostrado que su uso favorece las actitudes hacia la ciencia, la motivación intrínseca y el pensamiento crítico. Al proponer un ambiente de

aprendizaje interactivo y lúdico, los simuladores despiertan el interés de los estudiantes y disminuyen el temor que implica la materia científica.

De acuerdo con Tsihouridis et al. (2019), los laboratorios virtuales no solo cumplen una función complementaria, sino que también constituyen una valiosa instancia de preparación previa a las prácticas presenciales, ya que permiten a los estudiantes familiarizarse anticipadamente con los procedimientos experimentales y los conceptos fundamentales, contribuyendo así a un uso más eficiente del tiempo y de los recursos en el laboratorio físico. Asimismo, el meta-análisis realizado por García et al. (2022) evidencia que los laboratorios virtuales presentan niveles de efectividad comparables a los de los laboratorios tradicionales en el desarrollo del aprendizaje conceptual y, en determinados contextos, incluso pueden generar mejores resultados. Pero estos mismos estudios y otros (Bazie et al., 2024) señalan que la eficacia no depende tanto de herramienta tecnológica como de su integración pedagógica dentro de un diseño instruccional. La simple exposición a la simulación no implica aprendizaje; por el contrario, su uso debe estar integrado en actividades de indagación guiada, con objetivos de aprendizaje explícitos y espacios de reflexión para establecer conexiones entre las observaciones simuladas y los conceptos teóricos (Banda & Nzabahimana, 2023; Hermans et al., 2022).

Y precisamente eso se repite como uno de los problemas que más se menciona en la literatura: la divergencia entre la promesa de lo que los laboratorios virtuales parecen poder ser y lo que son en realidad cuando los podemos utilizar en contextos concretos de aprendizaje, sobre todo en aquellos que están sometidos a restricciones de infraestructura. Estudios realizados en contextos de bajos recursos, como los de Deriba et al. (2024) en Etiopía, así como la investigación comparativa desarrollada por Kolloff y Rienäcker (2023) en distintos contextos nacionales, indican como los obstáculos más relevantes el acceso restringido a dispositivos tecnológicos, una conectividad insuficiente o inestable y la ausencia de capacitación docente para introducirlos pedagógicamente. Estos resultados tienen relevancia para la realidad ecuatoriana. Como informa el Instituto Nacional de Estadística y Censos (2023), solo el 28% de las escuelas rurales en Ecuador tiene acceso a Internet con la calidad suficiente para hacer uso de materiales didácticos digitales, una limitación estructural de primer nivel.

El caso de Ecuador es un ejemplo de un problema regional. Si bien hay casos exitosos en Latinoamérica, como el estudio de Ramírez y Torres (2023) que demostró cómo laboratorios virtuales PhET pueden sustituir parcialmente la falta de laboratorios reales en

entornos de bajos recursos, la evidencia empírica sólida producida en el país aún es escasa. La mayoría de los estudios se han localizado en contextos universitarios o urbanos, y hay una falta de estudios en el contexto de la educación secundaria rural. Esta ausencia es especialmente preocupante dado que, de acuerdo con el Ministerio de Educación del

Ecuador (2023), el 42% de las instituciones educativas fiscales no cuentan con laboratorios de ciencias funcionales, una cifra que se estima aún mayor en áreas rurales de provincias como Chimborazo. El diagnóstico interno de la Unidad Educativa Cocán (2024) indica que el 92% de los estudiantes de primer año de Bachillerato tienen problemas para comprender conceptos básicos de Química por la imposibilidad de realizar prácticas de laboratorio, un síntoma de este problema estructural no resuelto.

Por lo cual existe la necesidad de desarrollar estudios con diseños metodológicos robustos, como los cuasiexperimentales, para crear evidencia contextualizada sobre la efectividad y las condiciones para implementar laboratorios virtuales en el entorno rural ecuatoriano. Como señalan Banda y Nzabahimana (2023), hace falta recopilar resultados de aprendizaje medidos con instrumentos validados, así como los procesos de implementación y percepciones de los actores educativos. En investigaciones recientes, como las de Domínguez et al. (2023) y López et al. (2021), se han utilizado con éxito estos diseños en la educación secundaria, mejorando la comprensión conceptual, la motivación y proporcionando modelos metodológicos a seguir.

En síntesis, la última toma de las mejores prácticas en la enseñanza muestra que todos están de acuerdo con los laboratorios virtuales, especialmente las simulaciones PhET, son cambios para la educación química. Ayudan a superar los obstáculos habituales como el costo y el espacio, y realmente hacen que el aprendizaje se mantenga, pero, no se trata sólo de tener la tecnología; también se trata de lo bien que se enseña, cómo los maestros están entrenados y cómo superar la brecha digital. Esta investigación pretende llenar esa literatura con evidencia empírica en un contexto particular y descuidado: el bachillerato rural ecuatoriano. En ese proceso que es el de probar una hipótesis científica también se busca orientar las decisiones pedagógicas e institucionales para democratizar el acceso a una educación científica de calidad acorde con las recomendaciones de organismos internacionales como la UNESCO (2021) de adecuar las soluciones tecnológicas a los contextos de manera que esas soluciones no amplíen la brecha en materia de acceso educativo.

2.2 Consideraciones legales normativas

La presente investigación sobre la incorporación de laboratorios virtuales en el proceso de enseñanza de la Química tiene su marco de referencia y apoyo en una serie de instrumentos legales y normativos que, en el plano internacional, se proyectan hacia los ámbitos nacional y local, que contienen lineamientos, los mismos que garantizan derechos y establecen políticas públicas que validan y otorgan relevancia a la investigación. Este cuerpo normativo no solo fundamenta la relevancia del estudio, sino que, al mismo tiempo, dirige su meta final en la contribución a una educación científica de calidad, con equidad e innovación.

2.2.1 Nivel Internacional

En el plano mundial, el compromiso de los Estados con la educación de calidad y el desarrollo sostenible estimula la innovación educativa. La Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, acordada en la Asamblea General de las Naciones Unidas en 2015 y ratificada por el Ecuador, es el pilar más importante a nivel internacional. El Objetivo de Desarrollo Sostenible 4 (ODS 4) busca asegurar una educación inclusiva y equitativa de calidad, así como fomentar oportunidades de aprendizaje a lo largo de toda la vida para todos (Naciones Unidas, 2015, p. 14). En el marco de este objetivo, se establecen metas específicas que guardan una relación directa con la presente investigación. La Meta 4.4 plantea “aumentar significativamente la cantidad de jóvenes y adultos que desarrollan las competencias requeridas, especialmente de carácter técnico y profesional, para su inserción laboral, el acceso a un trabajo decente y el emprendimiento” (Naciones Unidas, 2015, p. 17). El desarrollo de las competencias científicas a través de laboratorios virtuales responde a la necesidad de formar destrezas prácticas y cognitivas requeridas en el siglo XXI.

Asimismo, la Meta 4.a es particularmente significativa, ya que insta a los países a: “Desarrollar y adaptar espacios educativos que consideren las necesidades de la niñez, de las personas con discapacidad y las diferencias de género, garantizando ambientes de aprendizaje seguros, inclusivos, libres de violencia y pedagógicamente efectivos para toda la población” (Naciones Unidas, 2015, p. 18). Los laboratorios virtuales, como los simuladores PhET, materializan este principio al ofrecer un entorno de aprendizaje inherentemente seguro para la experimentación Química, al superar los riesgos de un laboratorio físico. Además, son potencialmente más inclusivos al permitir la manipulación de variables y la repetición de experimentos adaptándose a diferentes ritmos de aprendizaje.

Este marco global establece, por tanto, constituye un mandato para que los Estados, como el Ecuador innoven en su oferta educativa, utilizando la tecnología como un vehículo para la equidad y la calidad.

2.2.2 Nivel nacional

Ecuador ha traducido esos compromisos internacionales en su derecho interno, construyendo un sólido marco normativo constitucional y legal que permite la incorporación de tecnologías en la educación. La Constitución de la República del Ecuador (2008) es la norma suprema que cimienta este derecho. Su Artículo 26 reconoce a la educación como un derecho fundamental garantizado a todas las personas durante el transcurso de su vida, así como una responsabilidad irrenunciable del Estado, y que se establece como un eje estratégico dentro de las políticas públicas y de la asignación de recursos estatales (Asamblea Constituyente, 2008, art. 26). Esta declaración obliga al Estado a destinar los recursos y esfuerzos necesarios para garantizar una educación de calidad, lo que incluye superar las barreras de infraestructura en instituciones como la Unidad Educativa Cocán mediante soluciones innovadoras.

La disposición constitucional más directa para esta investigación se halla en el Artículo 347, que establece las obligaciones del Estado en materia de educación. El apartado primero de este artículo dice que el Estado debe “garantizar, por medio de las instituciones educativas, la realización de proyectos de innovación pedagógica que consideren los avances científicos y tecnológicos” (Asamblea Constituyente, 2008, art. 347.1). No solo se admite, sino que se obliga a que en el sistema educativo se incorporen herramientas como los laboratorios virtuales PhET, considerándolas una estrategia de innovación pedagógica al servicio del aprendizaje de las ciencias.

En desarrollo de estos principios constitucionales, la Ley Orgánica de Educación Intercultural (LOEI) establece el marco jurídico específico para la actividad educativa. En este sentido, en el artículo 3, literal i, señala como uno de los objetivos de la educación intercultural el “propiciar procesos de innovación, investigación y experimentación en los ámbitos pedagógico, científico, tecnológico” (Asamblea Nacional, 2021, art. 3.i). La presente tesis es, en esencia, un proceso de investigación que busca generar evidencia sobre una innovación pedagógica con base tecnológica, cumpliendo así con este fin legal. Además, el Artículo 17, literal b, establece que el Sistema Nacional de Educación debe “articular y coordinar los niveles de educación con la investigación, el desarrollo científico, tecnológico

y la innovación” (Asamblea Nacional del Ecuador, 2021, art. 17.b), creando un puente formal entre la práctica en el aula y la investigación educativa.

En lo que respecta al marco normativo que regula la educación media, el Acuerdo Ministerial MINEDUC-2022-00138-A, correspondiente al Reglamento del Bachillerato General Unificado (BGU), resulta de aplicación directa. En su Artículo 23 se dispone el uso de recursos educativos y de las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) como apoyo al proceso de enseñanza y aprendizaje (Ministerio de Educación, 2022, art. 23), lo que reconoce de manera explícita a estas herramientas —entre ellas los laboratorios virtuales— como recursos pedagógicos válidos y pertinentes dentro del currículo nacional. También el artículo 16 del mismo reglamento establece que la BGU deberá contar con “actividades prácticas y experimentales que contribuyan a la formación” (Ministerio de Educación, 2022, art. 16). En situaciones en donde los laboratorios presenciales no existen, tal como en el caso de estudio, los laboratorios virtuales se posicionan como la opción práctica y jurídicamente respaldada para dar cumplimiento a esta exigencia y asegurar que los estudiantes reciban una formación científica integral.

Por otro lado, la Ley Orgánica de Ciencia, Tecnología e Innovación (LOCTI) establece la base para el impulso de las actividades que esta investigación plantea. El numeral 3, literal d, de su artículo 3 define: “Innovación” como “la utilización de conocimiento nuevo, sea científico o tecnológico o de cualquier otro tipo, que conduzca a nuevos productos, procedimientos o servicios, o a una mejora sustancial de productos, procedimientos o servicios existentes” (Asamblea Nacional, 2016, art. 3.d). La introducción de laboratorios virtuales para cubrir una necesidad crítica en la enseñanza de la QUÍMICA, es sin duda un proceso de innovación educativa que afecta para bien el aprendizaje de esta ciencia. Finalmente, a nivel de política pública, se consolida este marco en el Plan Nacional de Desarrollo 2021-2025 “Toda una Vida”, establecido por el Decreto Ejecutivo 109. En su Eje 3: Derechos para toda la vida, plantea garantizar el derecho a una vida digna con igualdad de oportunidades, mediante políticas como la Política 3.1 para reducir las brechas del acceso y calidad en los servicios de educación (Presidencia de la República, 2021). La investigación se ocupa directamente de esta brecha de calidad en la enseñanza de las ciencias. El Eje 4: Economía para la sociedad tiene para Objetivo 4 “Fomentar la transformación digital y la sociedad del conocimiento” (Presidencia de la República, 2021), lo que promueve de manera clara la inclusión de tecnologías digitales en todos los sectores, incluyendo la educación, para combatir la desigualdad.

2.2.3 Nivel local

Aunque la legislación local (provincial o institucional) tiende a ser menos jerárquica, está en consonancia con las leyes nacionales. En el contexto de la Unidad Educativa Cocán, ubicada en la provincia de Chimborazo, los documentos normativos internos más relevantes corresponden al Proyecto de Educación Institucional (PEI) y Planificación Curricular. Estos instrumentos, aunque no son jurídicamente vinculantes, aplican las disposiciones nacionales en el ámbito particular de la institución y es en ellos donde debe reflejarse la aplicación de los principios establecidos en el LOEI y el Reglamento de las BGU. La integración de los laboratorios virtuales PhET en la planificación microcurricular de la asignatura de Química sería la materialización a nivel local de todo el marco normativo superior. El diagnóstico interno de la institución (Unidad Educativa Cocán, 2024), que evidencia las dificultades de aprendizaje por la falta de laboratorios, obliga normativamente a la búsqueda de soluciones innovadoras, tal como lo ordena el Artículo 347 de la Constitución.

2.3 Fundamentación Teórica

2.3.1 La Enseñanza de la Química

La enseñanza de la Química en Bachillerato sufre una paradoja: a pesar de ser la ciencia que mejor explica los fenómenos que se producen en el día a día (cocinar, la fotosíntesis, etc.), su aprendizaje se presenta como abstracto, difícil y alejado de la realidad. Y esta idea no es del todo desacertada, ya que responden a dificultades conceptuales intrínsecas a la disciplina que se ven agravadas por pedagogías tradicionales.

Identificar estas dificultades constituye el primer paso para diseñar acciones de intervención educativa que posibiliten su superación, como pueden ser los laboratorios virtuales. En el centro de estas dificultades reside la naturaleza misma del conocimiento químico, representado en tres niveles de representación: macroscópica, microscópica y simbólico. El nivel macroscópico es el mundo que podemos observar, es el 'qué pasa', cosas como el cambio de color, la liberación de un gas o una explosión. A nivel microscópico, hablamos de cosas que no se pueden ver sin ayuda, como átomos, moléculas, iones y las formas en que interactúan entre sí. El nivel simbólico es todo sobre el sistema de representación química, que cubre fórmulas, ecuaciones químicas, gráficos, y modelos conceptuales. Aspersión de materia química necesita que se muevan suavemente entre estos tres niveles, hablando de lo que ves justo delante de ti, lo que está pasando en una escala pequeña, y lo que se muestra los símbolos.

El obstáculo más grande para el aprendizaje, como ya han señalado varios investigadores, es que muchos estudiantes no son capaces de hacer esas conexiones. Para Gilbert y Treagust (2020), la Química es una ciencia de “varias representaciones” y la “destreza necesaria para alternar entre ellas” es una habilidad que comúnmente no se desarrolla. Los estudiantes pueden aprender de memoria H_2O y pueden decir que es una molécula de agua, pero muchos tienen problemas para visualizar cómo están dispuestos sus átomos en el espacio, qué tipo de enlaces los mantienen juntos y cómo eso determina propiedades macroscópicas como su alto punto de ebullición o su función como solvente universal. Esta disociación transforma aprender Química en memorizar símbolos y algoritmos vacíos, en lugar de construir modelos mentales explicativos de la realidad. Por ejemplo, un estudiante podría aprender a balancear sin embargo sin llegar a comprender que esos números coeficientes son proporciones relativas de unas cantidades finitas de entidades discretas (moléculas) que se reforman en una reacción química, la cual tiene lugar en un plano invisible. Esta fragmentación del conocimiento impide una verdadera comprensión, tal como sostiene David Ausubel en su teoría.

La Teoría del Aprendizaje Significativo de Ausubel sostiene que, para que un nuevo conocimiento se integre de forma permanente y utilizable en la estructura cognitiva del sujeto, este debe conectarse con los conocimientos previos existentes en su estructura cognitiva de manera no arbitraria ni literal, a los cuales denominó "subsunoadores". El aprendizaje se produce cuando estas asociaciones se forman y la información nueva puede ser anclada diferenciada y organizada en la mente del estudiante. No obstante, la Química tradicional de enseñanza oral, tienden a formar estudiantes ejecutores de instrucciones que operadores matemáticos de conceptos, no parece establecer ni activar los subsunoadores adecuados. ¿Qué idea inicial debe tener un estudiante para comprender la "mol" o el "enlace iónico"? Pero si estos conceptos se enseñan de forma aislada, como simples definiciones que hay que memorizar, el aprendizaje será necesariamente memorístico y superficial. Sarikaya y Aydin (2021) encontraron que la forma más teórica y memorística que se usa en muchas instituciones educativas genera dificultades en la comprensión conceptual y el desarrollo de habilidades científicas. Los estudiantes se transforman en repetidores de información, pero no en personas que puedan usar la información para explicar, predecir o manipular fenómenos químicos.

Esta situación se agrava donde, como en la Unidad Educativa “Cocán”, la distancia entre teoría y práctica es un abismo insalvable por falta de laboratorios físicos. La

manipulación hands-on a escala macroscópica es —o debería ser— el eslabón que ancla las nociones abstractas microscópicas y simbólicas en la experiencia sensorial. Cuando un estudiante mezcla dos soluciones y se forma un precipitado, está presenciando un evento macroscópico. El trabajo del profesor consiste en orientarlo para que explique ese fenómeno en función de iones que se combinan para formar una sustancia insoluble (nivel microscópico) y lo exprese mediante una ecuación química neta (nivel simbólico). Sin esta experiencia, "precipitado" y "ecuación iónica neta" son sólo palabras vacías. Como encontraron Bazie et al. (2024), (2024), la separación entre la teoría y la práctica experimental se encuentra entre las principales barreras para la adquisición de conocimiento significativo en Química, particularmente en ambientes que presentan laboratorios deficientes o ausentes. Esta carencia afecta no solo al entendimiento sino también al interés. Es difícil enamorarse de una ciencia que se vende como un conjunto de normas y fórmulas incomprensibles, sin poder manipular lo que más la representa: sus manifestaciones materiales.

A los problemas de las múltiples representaciones y la falta de anclaje empírico, la Química añade la dificultad de unos conceptos inherentemente contraintuitivos. Las ideas básicas de la teoría atómico-molecular entran en conflicto con la evidencia de los sentidos. Desde la percepción cotidiana, la materia se manifiesta como un todo continuo y no como una estructura formada por unidades discretas. Representaciones como la de un sólido metálico constituido por iones positivos inmersos en una nube de electrones deslocalizados, o la de un gas cuyas partículas se desplazan en un espacio predominantemente vacío, no encuentran correspondencia directa en la experiencia observable. En consecuencia, los estudiantes se ven obligados a elaborar representaciones mentales que trascienden la información sensorial inmediata, lo que supone un desafío cognitivo considerable y demanda apoyos pedagógicos específicos. La forma tradicional de enseñar, apoyada en descripciones verbales y dibujos estáticos en un pizarrón o en un libro de texto, no es suficiente para construir estos modelos mentales dinámicos y ricos. Los estudiantes pueden aprenderse las definiciones, pero sus ideas implícitas sobre la naturaleza de la materia suelen quedar ancladas en concepciones previas o "alternativas" no coincidentes con la ciencia establecida.

El modelo tradicional, ése que pone en el centro al profesor y a la clase magistral, tiende a favorecer el plano simbólico sobre los otros dos. Gran parte del tiempo de enseñanza se dedica al aprendizaje de la nomenclatura inorgánica, al ajuste de ecuaciones químicas y

a la resolución de cálculos estequiométricos desde un enfoque predominantemente abstracto, sin asegurar previamente que los estudiantes hayan desarrollado una comprensión adecuada de los fenómenos a nivel macroscópico y submicroscópico. Esta falta de equilibrio da lugar a lo que se denomina “analfabetismo químico funcional”, caracterizado por estudiantes capaces de aplicar procedimientos matemáticos en evaluaciones formales, pero con dificultades para explicar los procesos que ocurren en una reacción química sencilla o para anticipar el comportamiento de una sustancia a partir de su estructura. La evaluación, en este modelo, generalmente se limita a exámenes escritos que favorecen la memorización de definiciones y fórmulas, perpetuando un ciclo de aprendizaje superficial.

En lugares como el ecuatoriano, y más aún en zonas rurales, a estos problemas globales se suman de carácter estructural. Una de las principales debilidades identificadas en el sistema es la falta de infraestructura y equipamiento para la práctica experimental, según el Ministerio de Educación del Ecuador (2023). Bajo estas circunstancias, la enseñanza de la Química tiende a volverse cada vez más teórica y libresco, poniendo más distancia entre lo que se enseña en la escuela y lo que hacen realmente los científicos. El análisis de la propia Unidad Educativa “Cocán” (2024) señala que el 92% de sus estudiantes de primer año de Bachillerato tienen problemas para entender conceptos elementales de Química, un resultado esperado ante esta realidad. No es una incapacidad de los alumnos, sino un fracaso del sistema en ofrecer las condiciones pedagógicas mínimas para que se dé un aprendizaje significativo.

En síntesis, las dificultades conceptuales en la enseñanza de la Química responden a múltiples factores. Estas se originan en el carácter abstracto y en la coexistencia de diversos niveles de representación propios de la disciplina, se ven reforzadas por enfoques pedagógicos centrados en la memorización y la transmisión de contenidos, y se profundizan en contextos donde existen limitaciones materiales para desarrollar actividades experimentales que permitan concretar dichas abstracciones. Comprender este escenario de manera integral resulta clave para valorar el aporte de herramientas digitales, como los laboratorios virtuales PhET, las cuales permiten superar estas barreras al hacer comprensibles fenómenos no observables directamente, recrear procesos que implican riesgos o altos costos y, en última instancia, fortalecer la vinculación entre el aprendizaje de la Química y la experiencia científica.

2.3.1.1 Dimensiones de la enseñanza de la Química

La enseñanza de la Química puede analizarse a partir de diversas dimensiones que permiten comprender su alcance como proceso formativo. No se limita a la transmisión de contenidos, sino que implica la planificación de estrategias, el uso de recursos didácticos y la mediación pedagógica del docente. Estas dimensiones orientan la forma en que se organizan las experiencias de aprendizaje en el aula (Terán et al., 2025). Además, permiten evaluar la efectividad del proceso más allá del cumplimiento curricular. En este sentido, la enseñanza se concibe como una acción intencional orientada a generar aprendizaje significativo.

2.3.1.1.1 Dimensión metodológica

La dimensión metodológica de la enseñanza de la Química comprende el conjunto de estrategias y enfoques pedagógicos que orientan el desarrollo de los contenidos en el aula. Esta dimensión define cómo se estructura el proceso de enseñanza, qué tipo de actividades se priorizan y cuál es el rol que asumen docente y estudiante. No se limita a la selección de métodos, sino que implica una planificación intencional orientada a facilitar la construcción del conocimiento científico (Valderrama y Valderrama, 2022). La metodología adoptada influye directamente en la profundidad con que los estudiantes comprenden los fenómenos químicos.

2.3.1.1.2 Dimensión didáctico–experimental

La dimensión didáctico–experimental se refiere a la manera en que la enseñanza de la Química integra la experiencia práctica como medio para comprender los conceptos científicos. La naturaleza de esta disciplina exige vincular la teoría con la observación y la experimentación para facilitar la construcción de modelos explicativos. Esta dimensión busca superar la fragmentación entre el nivel macroscópico, microscópico y simbólico del conocimiento químico (Gelvez, 2025). Cuando la práctica experimental está ausente, el aprendizaje tiende a volverse abstracto y descontextualizado.

2.3.1.1.3 Dimensión formativa

La dimensión formativa de la enseñanza de la Química se relaciona con los efectos que el proceso didáctico genera en el desarrollo integral del estudiante. No se reduce únicamente a la asimilación de contenidos, sino que incluye el desarrollo de habilidades

cognitivas, actitudes propias del quehacer científico y una disposición favorable hacia el aprendizaje. Esta dimensión evidencia el potencial de la enseñanza para fomentar la comprensión de conceptos, el razonamiento científico y una actitud positiva frente a la asignatura (Hijuelos et al., 2022), por lo que se considera un elemento fundamental para valorar la calidad educativa.

2.3.1.2 “La enseñanza tradicional de la Química: alcances y limitaciones”.

El modelo tradicional de enseñanza de la Química, tan teorizante y dependiente de la clase expositiva ha probado ser insuficiente para generar aprendizaje significativo. Este modelo, muchas veces llamado modelo "transmisión-recepción" del conocimiento, donde el profesor es el único portador del saber y el estudiante un recipiente vacío que debe ser llenado de información. En este modelo, aprender es como una calle de un solo sentido donde el profesor reparte conceptos, definiciones y algoritmos, y el trabajo del estudiante es sólo escuchar, anotar cosas, Este enfoque tiene un montón de limitaciones que realmente afectan cómo los estudiantes aprenden, se motivan y mejoran en las cosas de ciencia.

Un defecto importante con este modelo es que no ayuda realmente con el aprendizaje significativo. Como ya se anticipó, la teoría de Ausubel enfatiza que el nuevo conocimiento se ha de subsumir en conceptos previos existentes en la estructura cognitiva del individuo. Pero la pedagogía ordinaria poco se preocupa por diagnosticar o movilizar estos subsunores. Los contenidos de Química se ofrecen en forma de productos terminados y fragmentados, sin historia, sin experimento, sin sociedad. Por ejemplo, la tabla periódica se enseña con frecuencia como un icono estático para memorizar y no como una herramienta dinámica que permite predecir el comportamiento de los elementos, y que es el producto de la construcción colectiva. Esta manera extraliteraria de presentar el saber construye la enseñanza en un acto adormecido y reiterado. Sarikaya & Aydın (2021) revelan que esta visión mayoritariamente teórica y memorística, que impera en muchas estructuras educativas, dificulta la comprensión conceptual, así como el desarrollo de habilidades científicas. Los chicos pueden pasar exámenes repitiendo definiciones, pero no saben aplicar los conceptos en situaciones nuevas o explicar por qué se pasa frío, o qué es el río que corre por la plaza, lo que muestra que tienen una comprensión débil y superficial.

Esta limitación resulta especialmente evidente en la resolución de problemas. En el enfoque tradicional, la enseñanza de la Química privilegia la aplicación de algoritmos o procedimientos estandarizados —principalmente en problemas estequiométricos. En

consecuencia, los estudiantes aprenden a clasificar los problemas y a ejecutar secuencias previamente memorizadas para obtener una solución, sin alcanzar una comprensión sustantiva de los fundamentos químicos implicados. Este enfoque no favorece el desarrollo de capacidades para el análisis crítico de los problemas, la formulación de hipótesis ni el razonamiento cualitativo sobre los fenómenos que tienen lugar a nivel microscópico. En la investigación de Bazie et al. (2024) también se apoya esta afirmación, ya que la desconexión entre la teoría y la práctica experimental es una de las mayores complicaciones para el aprendizaje significativo de la Química. En un modelo idealizado, esta separación es total. La ecuación química ajustada se transforma en un ejercicio algebraico, y términos como "mol" o "concentración molar" pierden todo significado físico-químico como contadores de entidades elementales y como vínculo con las propiedades macroscópicas de las disoluciones.

Otra limitación significativa del modelo tradicional radica en su carácter esencialmente pasivo para el estudiante. La clase magistral no demanda una participación activa, ni a nivel cognitivo ni procedimental, por lo que el alumno asume un rol fundamentalmente receptivo en su propio proceso de aprendizaje. Como consecuencia, suelen manifestarse el desinterés, la desmotivación y la desconexión con la asignatura. De este modo, la Química una disciplina con alto potencial para suscitar curiosidad y asombro termina percibiéndose como una materia monótona y poco atractiva. Este enfoque, además, no favorece el desarrollo de competencias científicas propias del siglo XXI, tales como el pensamiento crítico, la creatividad, la colaboración y la indagación. Un estudiante que solo ha sido adiestrado para recibir y repetir información no está siendo preparado para afrontar el mundo complejo en que vivimos, donde lo importante es saber preguntar, investigar, crear nuevo conocimiento. El modelo tradicional básicamente entrena aplicadores de fórmulas, no científicos.

La nota en este modelo viene a reforzar lo peor de ellos. Cuando se enfatiza la evaluación de la memoria y la ejecución de procedimientos mecánicos en exámenes escritos de respuesta cerrada, se está transmitiendo a los alumnos el mensaje de qué es lo importante: la información memorizada y la aplicación de algoritmos, no la comprensión y el razonamiento. Un alumno que sabe expresar con sus palabras un concepto pero que se equivoca en un ejercicio seguramente será calificado peor que otro que lo resuelve mecánicamente sin comprenderlo. Este tipo de clasificación no es sólo injusto; en realidad está enseñando a los estudiantes a esquivar la superficie en lugar de cavar más profundo

En recursos- Estos puntos difíciles, como la Unidad Educativa Cocán y un montón de otras escuelas rurales en Ecuador y América Latina, Esta escasez se pone cada vez peor y más preocupante no tener suficientes laboratorios prácticos realmente hace difícil cerrar la brecha entre lo que aprendemos y cómo lo aplicamos cuando las cosas son así, enseñando principalmente se adhiere a la teoría, lo que detiene el aprendizaje práctico como terminar los grados, En esta situación, los hallazgos del chequeo de la Unidad Educativa Cocán 2024 revelan que un enorme 92% de estudiantes de química de primer año están luchando por comprender lo básico. Está bastante claro que estos desafíos son el resultado directo de la experiencia de la Unidad Educativa Cocán. No son los alumnos el problema, sino el modelo de enseñanza que, al perder su dimensión práctica, se convierte en algo incapaz de generar aprendizaje. La carencia de material científico, como señala Guamán (2024), limita el aprendizaje práctico, influye en la motivación y las notas de los estudiantes, generando un círculo vicioso de desmotivación y bajo rendimiento.

Finalmente, el modelo tradicional también falla en la formación de profesores. Tiende a reproducir la forma en que ellos mismos fueron enseñados cuando fueron estudiantes, lo que dificulta la innovación y la incorporación de nuevas metodologías de enseñanza. La ausencia de formación en tecnologías educativas, aplicando además metodologías con el aprendizaje activo, una carencia que también señalan Deriba et al. (2024), hace que un número considerable de docentes, por mucho que tengan buenas intenciones, no se atrevan o no tengan las capacidades necesarias para salirse de la cómoda, pero ineficaz clase magistral. En conclusión, la forma en la que tradicionalmente se enseña Química, con su teoría aislada, memorización, pasividad y evaluación mecánica, constituye un impedimento para formar científicos competentes. Estas limitaciones deben ser superadas no ya como opción pedagógica sino como exigencia, más aún en los contextos donde la escasez de recursos, ha privado al alumnado del 'making' sonante que infunde vida al aprendizaje de la Química. La inserción de laboratorios virtuales aparece entonces no como un adorno tecnológico, sino como una solución efectiva y potente para convertir un modelo de enseñanza obsoleto en otro de comprensión, exploración y construcción de conocimiento.

2.3.1.2.1 La TPACK y su integración pedagógica

El desafío de incorporar herramientas digitales a la enseñanza no es meramente tecnológico, sino pedagógico, y requiere comprender cómo interactúan el contenido, la enseñanza y las posibilidades de la tecnología. Ante esto, el marco teórico del conocimiento tecnológico pedagógico del contenido (TPACK), desarrollado por Mishra y Koehler (2006), se ha establecido como la perspectiva, para analizar cómo realizar de forma adecuada el uso de la tecnología en la enseñanza y el aprendizaje. El modelo TPACK sostiene que la enseñanza efectiva con tecnología se fundamenta en la combinación integrada y contextualizada de tres tipos de conocimientos básicos: el conocimiento del contenido (CC), el conocimiento pedagógico (CP) y el conocimiento tecnológico (CT).

El Conocimiento del Contenido es el conocimiento que tiene el profesor sobre la materia que enseña. En el campo de la investigación de laboratorios virtuales en Química, este conocimiento implica apropiarse de los conceptos químicos, teorías, prácticas científicas y la estructura epistemológica de la Química. Un profesor con buen Conocimiento del Contenido no solo conoce hechos y conceptos aislados, sino que entiende cómo se conectan entre sí, cómo la Química los investiga y cuáles son las dificultades más frecuentes que encuentran los estudiantes (como la ya citada necesidad de moverse entre los niveles macro, micro y simbólico de representación).

El Conocimiento Pedagógico, en cambio, es el conocimiento profundo sobre los procesos y prácticas de enseñanza y aprendizaje. Este tipo de conocimientos abarca la comprensión de cómo los estudiantes absorben información, manejando un aula sin problemas, organizando lecciones de una manera lógica, comprobando si los estudiantes lo están recibiendo, y escoger métodos de enseñanza que realmente ayuden a los estudiantes a entender las cosas. Esta es una comprensión amplia que no se relaciona con ningún campo específico, centrándose en la habilidad para enseñar diferentes materias. Asimismo, supone el dominio de teorías del aprendizaje, como el enfoque constructivista que sustenta las propuestas de indagación, y la habilidad para diseñar experiencias educativas que promuevan la participación activa del estudiante y el desarrollo de habilidades cognitivas de orden superior.

El Conocimiento Tecnológico abarca el conocimiento sobre tecnologías tradicionales y digitales, hardware y software. Pero no basta con estar alfabetizado digitalmente o saber usar un aparato. Implica conocer en un nivel superior para poder elegir

herramientas tecnológicas justificadamente, adaptarlas a sus necesidades y solucionar problemas tecnológicos que se presenten. Para los laboratorios virtuales PhET, este conocimiento implicaría conocer la plataforma, su interfaz, las simulaciones específicas para Química y cómo manejarlas en el aula con computadoras o dispositivos móviles.

Uno de los principales aportes del marco TPACK radica en que los distintos tipos de conocimiento que lo conforman no se conciben de manera independiente, sino como componentes que se articulan e interactúan de forma dinámica, dando lugar a saberes más complejos y especializados. De la convergencia entre el conocimiento pedagógico y el conocimiento del contenido surge el denominado Conocimiento Pedagógico del Contenido (Pedagogical Content Knowledge), concepto desarrollado por Shulman. Este tipo de conocimiento alude a la capacidad del docente para adaptar y representar el saber disciplinar de modo que resulte accesible y significativo para los estudiantes. Es saber enseñar Química. Un profesor con alto PCK sabe, por ejemplo, que para enseñar concentración molar no es suficiente con definirla, sino que hay que recurrir a analogías, demostraciones con disoluciones de color, diseñar actividades donde los alumnos visualicen la relación entre cantidad de soluto y volumen de disolución.

De la misma forma, la intersección entre el Conocimiento del Contenido y el Conocimiento Tecnológico da lugar al Conocimiento Tecnológico del Contenido. Esto implica entender cómo la tecnología y el contenido se moldean y limitan entre sí. Implica conocer las tecnologías más apropiadas para representar o manipular conceptos de una disciplina. En Química, el TCK se evidencia cuando un profesor es consciente de que un simulador PhET de "Reactantes, Productos y Sobrantes" es una forma muy potente de visualizar la estequiometría de una reacción a nivel atómico y de mostrar cómo los átomos se reordenan y cómo un reactante limita la reacción, algo imposible de mostrar en una práctica de laboratorio y muy difícil de explicar solo con una pizarra.

Además, la intersección del Conocimiento Tecnológico y el Conocimiento Pedagógico es el Conocimiento Tecnológico Pedagógico. Este conocimiento implica saber

cómo las tecnologías pueden usarse para implementar enfoques pedagógicos generales. Implica el conocimiento de instrumentos genéricos de colaboración, práctica o evaluación, independientemente del contenido. Un profesor con TPK desarrollado sabe, por ejemplo, cómo usar una herramienta de votación online para sondear las ideas previas de la

clase o cómo montar un foro de discusión para generar debate, más allá de un contenido químico en particular.

El centro del modelo TPACK, y su mayor aporte, es la intersección simultánea de estos tres conocimientos base: el Conocimiento Tecnológico Pedagógico del Contenido. El TPACK es un tipo de conocimiento experto que permite a los docentes crear, desarrollar y valorar intervenciones pedagógicas donde la tecnología no es un mero aditamento, sino el núcleo que transforma la enseñanza y el aprendizaje de un contenido específico. Un profesor con TPACK no solo usa el simulador PhET y sabe de Química, sino que sabe por qué, cuándo y cómo usar esa simulación específica para enseñar un concepto de Química de la manera más efectiva.

Para efectos de esta investigación, la aplicación exitosa del laboratorio virtual PhET en la Unidad Educativa Cocán está supeditada al desarrollo del TPACK por parte del docente investigador. Por ejemplo, elegir la simulación "Construye un Átomo" para introducir la estructura atómica, ya que su TPK le dice que manipular protones, neutrones y electrones es una estrategia pedagógica efectiva y su TCK le dice que esta simulación es perfecta para visualizar un contenido abstracto. Además, significa planificar una actividad de indagación guiada en torno a la simulación, ya que su PCK le indica que es necesario plantear preguntas orientadoras como "¿Qué cambia en el elemento si modificas el número de neutrones?" o "¿Qué tienes que hacer para crear un ion?", para que la manipulación de la simulación no se transforme en un juego sin sentido. Finalmente, su TPACK le anticipa problemas técnicos y pedagógicos, y desarrolla un ambiente de aprendizaje en el que la tecnología apoya la construcción de conocimiento químico.

La literatura científica apoya la importancia de este marco. Valverde-Berrocso et al. (2021) indican que los entornos virtuales estructurados mejoran la motivación y las capacidades reflexivas del estudiante, siempre y cuando los docentes estén capacitados para utilizarlos. Esta capacitación no es solo tecnológica, es capacitación en TPACK. En la misma línea, Banda y Nzabahimana (2023) señalan que la efectividad de las simulaciones depende de una integración pedagógica adecuada, lo cual concuerda con el modelo. Pero la entrega de la tecnología en sí, sin formar los profesionales para que la integren pedagógicamente, es un buen camino al fracaso, como se visualiza en los problemas de implementación observados por Deriba et al. (2024) en contextos de bajos recursos, donde la capacitación docente es la pieza ausente.

Es importante saber que el TPACK no es la suma de sus partes, sino el conocimiento que surge de la integración de ellas y que está situado en un contexto determinado. El conocimiento TPACK requerido para la integración de simulaciones PhET en una institución educativa rural de Chimborazo, donde existen limitaciones en la conectividad y en la disponibilidad de dispositivos tecnológicos será muy distinto del requerido en otras instituciones urbanas con un mayor acceso a los recursos. En este sentido, el contexto (dibujado en el modelo como el entorno que articula a todos los componentes) mediará las decisiones pedagógicas, tecno didácticas y didácticas. En consecuencia, la presente investigación no se limita a aplicar el marco TPACK, sino que contribuye a su fortalecimiento al generar conocimiento acerca de la manera en que este saber profesional se construye y se expresa en el ámbito específico de la educación científica rural ecuatoriana. En resumen, el modelo TPACK proporciona la visión teórica que permite entender que la efectividad de la intervención con VL no deriva de la simulación per se, sino de la habilidad del docente para construir una experiencia de aprendizaje en la que tecnología, pedagogía y contenido químico se entrelazan didácticamente conformando un conjunto sólido y adaptado a sus alumnos.

2.3.2 Aprendizaje activo y constructivismo

El aprendizaje activo y el constructivismo son las bases pedagógicas sobre las que se apoya el potencial educativo de los laboratorios virtuales. Mientras que el enfoque tradicional del aprendizaje lo entiende como una transferencia de información desde un emisor docente hacia un receptor estudiante, el constructivismo sostiene que el conocimiento no se adquiere de manera pasiva, sino que se construye activamente por la persona que aprende, mediante la interacción con su entorno y la reflexión sobre sus vivencias. Este punto de vista, a partir de las ideas de Piaget y Vygotsky, pone el aprendizaje en el centro de atención, con el estudiante haciéndose cargo de su propia educación. Piaget destacó que nuestra comprensión crece adaptándose a nuestro entorno, lo que significa que encajamos nuevas experiencias en nuestros marcos mentales y retocamos estos marcos cuando las cosas no encajan.

Cuando lo ves de la manera correcta, el aprendizaje real ocurre cuando un estudiante es arrojado a situaciones que los hacen cuestionar lo que pensaban que sabían, provocando un tirón mental de guerra que les empuja a cambiar cómo piensan que Vygotsky trajo en el aspecto social; el aprendizaje comienza a interactuar con la gente antes de que se convierta en un proceso interno Vygotsky creía que aprender de compañeros y profesores que son un

poco más hábiles que nosotros, especialmente cuando estamos en ese punto dulce donde podemos hacer algo con un poco de ayuda, es cómo realmente construimos nuestro conocimiento

El aprendizaje activo es la aplicación de estos principios constructivistas al aula. Cualquier manera de hacer que los estudiantes participen en el proceso de aprendizaje más allá de solo escucharlo. "Implica acciones en las que los estudiantes se comprometen en operaciones cognitivas de alto nivel, tales como analizar, sintetizar, evaluar, mientras piensan en lo que están haciendo". Mientras que el estudiante receptor de la clase magistral se sienta y escucha, el aprendiz activo juega con las ideas, resuelve problemas, plantea preguntas, dialoga, construye su comprensión.

Los laboratorios virtuales, en particular las simulaciones PhET, son herramientas poderosas para concretar el aprendizaje activo desde una perspectiva constructivista. Estas herramientas convierten al estudiante en un investigador activo. En vez de oír hablar de la ley de conservación de la masa, el estudiante puede coger átomos en una simulación, combinarlos y reordenarlos en moléculas y ver con sus propios ojos cómo las cantidades se equilibran a ambos lados de una ecuación química. Esta manipulación crea exactamente el tipo de experiencia concreta que Piaget decía que era necesaria para desarrollar esquemas mentales complejos. Por ejemplo, Domínguez et al. (2023) demostraron que las simulaciones PhET, integradas con actividades de indagación guiada, mejoran significativamente la comprensión conceptual y las habilidades de indagación en Química, ya que fuerzan al estudiante a manipular los conceptos en vez de solo recibirlos.

Además, los laboratorios en línea ofrecen un entorno perfecto para poner en acción la próxima área de crecimiento que Lev Vygotsky sugirió. El docente puede diseñar actividades con PhET que inicialmente requieren un alto nivel de apoyo, a través de guías estructuradas o preguntas orientadoras. Las simulaciones actúan como una estructura de apoyo, dando a los estudiantes señales visuales instantáneas para ajustar su propio pensamiento y comprensión por sí mismos. Por ejemplo, cuando un estudiante afirma erróneamente que la presión de un gas ideal disminuye cuando se eleva su temperatura, la simulación le demostrará de inmediato lo contrario, produciendo un desequilibrio cognitivo que lo conducirá a que reevalúe su razonamiento y construya una nueva explicación acerca de la relación presión-temperatura.

El carácter dinámico y exploratorio de estas herramientas favorece además procesos de aprendizaje mediados socialmente. Los alumnos pueden trabajar en pareja o en pequeños grupos para intentar resolver un problema planteado con la simulación, comparando sus predicciones, negociando significados y construyendo un entendimiento común. Este proceso conversacional es el constructivismo social vygotskyano, donde por medio del lenguaje y la interacción se construye socialmente el conocimiento. Para Valverde-Berrocoso et al. (2021), los ambientes virtuales estructurados incrementan la motivación y la capacidad reflexiva del estudiante, efecto que se ve potenciado en un contexto social en el que los estudiantes deben negociar y defender sus posturas. En esencia, los laboratorios virtuales facilitan un "ciclo de aprendizaje constructivista": el estudiante investiga la simulación (experiencia concreta), reflexiona en lo que está observando (observación reflexiva), formula abstracciones o hipótesis (conceptualización abstracta), y éstas se prueban mediante la manipulación del entorno virtual (experimentación activa). Este proceso constante de hacer y pensar es lo opuesto al modelo de transmisión-recepción y convierte a los estudiantes en pequeños científicos que, de la mano del profesor, construyen su conocimiento sobre el mundo de la Química. Por ende, el beneficio pedagógico de los laboratorios virtuales como PhET no se limita a su capacidad tecnológica, sino a su base constructivista de aprendizaje activo, en la cual los estudiantes pueden construir, destruir y reconstruir su aprendizaje de la Química.

2.3.3 Laboratorios Virtuales y Simulaciones Interactivas como Herramienta Didáctica

En el mundo actual de la educación en ciencias, los laboratorios virtuales se han convertido en una herramienta pedagógica con gran potencial. Un laboratorio virtual es un entorno de simulación por computadora que reproduce las condiciones, procesos y fenómenos de un laboratorio científico real, donde los usuarios pueden ejecutar experimentos, cambiar variables y observar los resultados mediante una interfaz computacional. Son entornos que Cabero-Almenara y Llorente-Cejudo (2020) definen como "simulaciones por ordenador de experimentos científicos que posibilitan a los estudiantes manipular equipos y materiales de laboratorio en un espacio virtual" (p. 1127). Esta definición subraya la importancia interactiva de un laboratorio virtual y lo diferencia desde un campo a las demostraciones audiovisuales o estáticas sobre fenómenos científicos.

Los laboratorios virtuales se caracterizan por poder crear un clima de enseñanza-aprendizaje en que el alumno deja de ser un mero espectador para convertirse en explorador.

A diferencia de un vídeo que muestra una reacción Química, en un taller virtual el alumno manipula los reactivos, cantidades y condiciones y observa qué pasa. Este proceso de decidir y recibir retroalimentación inmediata es la esencia de su valor pedagógico. Como indican Santos, López y García (2022), los laboratorios virtuales "ofrecen entornos seguros, rentables y flexibles para la experimentación" (p. 104542), lo que los hace especialmente útiles en entornos educativos con restricciones de infraestructura o recursos.

Entre las principales características de los laboratorios virtuales se encuentra la seguridad total para experimentar. En el ámbito de la Química, numerosos procedimientos experimentales implican el manejo de materiales peligrosos, condiciones térmicas extremas o procesos altamente reactivos; los laboratorios virtuales suprimen totalmente los riesgos físicos para docentes y estudiantes. Esta condición permite explorar fenómenos inviables en laboratorios escolares convencionales, como procesos nucleares o el uso de ácidos altamente concentrados. En segundo término, su costo marginal prácticamente inexistente los hace accesibles. Una vez que la plataforma está establecida, su replicación y difusión no requiere los costos recurrentes en reactivos, material de vidrio, equipos de protección o mantenimiento de instalaciones en que incurren los laboratorios físicos. Esta característica es fundamental en contextos educativos con bajos recursos, como muchas escuelas rurales en Ecuador.

La accesibilidad temporal y espacial es otra característica. Los laboratorios virtuales están accesibles las 24 horas del día desde cualquier lugar con conexión a Internet, para que los estudiantes practiquen y experimenten fuera del horario de clases y más allá del aula.

Esta flexibilidad ayuda a los estudiantes que necesitan tiempo extra para entender las cosas o quieren sumergirse más profundamente en temas. La repetibilidad infinita podría ser su herramienta de enseñanza más poderosa en el laboratorio real, desordenar significa perder tiempo y recursos, pero en el mundo virtual, Los estudiantes pueden intentarlo de nuevo tanto como quieran, retocar las cosas y explorar diferentes opciones hasta que realmente se apoderen de él. Este lugar anima a probar nuevas cosas sin preocuparse por arruinar el bate

Ser capaz de imaginar cosas que no están justo delante de ti, como cosas pequeñas o eventos lejanos, es un beneficio bastante bueno en Química, donde tratamos con cosas a una escala súper pequeña, laboratorios virtuales nos permiten "ver lo invisible" mostrándonos simulaciones interactivas de átomos, enlaces químicos, colisiones moleculares o

intercambios iónicos. Como señalan Wieman y Perkins (2020), las simulaciones PhET "hacen visible lo pequeño y lo grande" (p. 871), justamente para hacer esta conexión entre lo que se ve a nivel macroscópico y lo que lo explica a nivel microscópico. Finalmente, la retroalimentación inmediata que ofrecen estos ambientes permite a los estudiantes hacer asociaciones causales directas entre lo que hacen y lo que ven que sucede, acelerando el proceso de comprensión y corrección de ideas equivocadas.

Como tipología, los laboratorios virtuales se pueden clasificar atendiendo a diferentes criterios. Como ejemplo, Bazie, Adugna y Alemu (2024) hacen una clasificación según su grado de inmersión y realismo: simulaciones 2D, simulaciones 3D y sistemas de realidad virtual. Las simulaciones PhET que aquí investigamos son principalmente de la primera categoría, priorizando la claridad conceptual sobre el realismo fotográfico, una elección pedagógica intencionada que, en opinión de Wieman et al. (2022), la reducción de elementos visuales innecesarios favorece la comprensión profunda de los principios científicos, al evitar distracciones que pueden interferir en el aprendizaje significativo y los principios científicos subyacentes.

Otra clasificación importante diferencia entre laboratorios virtuales de demostración (en los que los estudiantes simplemente observan fenómenos predefinidos), laboratorios de ejercitación (en los que tienen tareas concretas que resolver) y laboratorios de exploración abierta (en los que pueden experimentar libremente). Las simulaciones PhET frecuentemente integran elementos de esas tres tipologías, ofreciendo habitualmente un espacio de indagación abierta junto a tareas orientadas que encauzan la experimentación hacia objetivos formativos concretos definidos claramente.

Esta versatilidad permite que pueda ajustarse a variados estilos de aprendizaje y diferentes momentos del proceso educativo.

Otra tipología se vincula con el enfoque pedagógico que la fundamenta: laboratorios virtuales expositivos que solo comunican contenidos, interactivos que admiten manipulación limitada y constructivistas que favorecen la exploración genuina y el descubrimiento. Los mejores diseños, como los PhET, pertenecen a esta última categoría, ya que son intencionados para apoyar la indagación y la construcción de conocimiento a través de la experimentación.

Entender estos conceptos, características y clasificaciones permite reconocer el potencial de los laboratorios virtuales como los PhET en la enseñanza de la Química. No

son sólo recursos digitales que simulan lo que se hace en un laboratorio real, sino entornos de aprendizaje con características propias que pueden revolucionar la enseñanza, sobre todo en lugares donde las limitaciones materiales siempre han supuesto un freno a la experimentación práctica. Su uso intencionado, por tanto, no implica una simple sustitución tecnológica, sino la oportunidad de replantear la enseñanza de las ciencias desde bases pedagógicas.

2.3.4 Simulaciones Interactivas PhET

El proyecto PhET Interactive Simulations, es una de las mayores iniciativas mejor consolidadas en la educación científica con tecnologías digitales. Creado por la Universidad de Colorado Boulder bajo la dirección del premio Nobel de Física Carl Wieman, PhET ha evolucionado desde 2002 hasta convertirse en una plataforma de acceso libre con más de 100 simulaciones interactivas para enseñar Física, Química, Biología, Matemáticas y otras ciencias. Lo que hace a PhET diferente de otras herramientas educativas digitales es que está pedagógicamente diseñado, fundamentado en una amplia investigación sobre cómo la gente aprende ciencias y cómo la tecnología puede apoyarlas en el proceso. Como señalan Wieman & Perkins (2020), el proyecto se inició con la idea de que "las simulaciones interactivas, cuando están bien diseñadas, pueden revolucionar la enseñanza de las ciencias al hacer que los procesos abstractos sean concretos, accesibles y atractivos" (p. 870).

Las simulaciones PhET se desarrollan siguiendo principios de diseño fundamentados en investigaciones sobre educación científica. En primer lugar, se prioriza la comprensión conceptual por encima del realismo visual. Mientras que muchas simulaciones buscan imitar la apariencia física de los equipos de laboratorio, PhET emplea representaciones simplificadas y metáforas gráficas que resaltan las ideas científicas. Por ejemplo, en la simulación "Construye un Átomo", protones, neutrones y electrones se muestran como esferas de colores distintos, una simplificación que permite a los estudiantes centrarse en las relaciones cuantitativas entre estas partículas subatómicas sin distraerse con detalles visuales irrelevantes. Este enfoque deliberado coincide con lo que Wieman et al. (2022) denominan "diseño orientado a la comprensión", donde cada elemento visual e interactivo se crea para facilitar la internalización de conceptos específicos.

El segundo principio que guía el diseño es la interactividad significativa. Las simulaciones PhET fomentan la exploración activa y el aprendizaje por descubrimiento mediante interfaces que ofrecen retroalimentación inmediata. Los estudiantes no solo están

viendo animaciones de conjuntos; se están poniendo manos a la obra al ajustar la configuración del modelo (como mover objetos, cambiar deslizadores o elegir diferentes escenarios). como arrastrar cosas, desordenar deslizadores con, y elegir diferentes escenarios para probar. Esta es una característica esencial para fomentar el compromiso y la construcción de conocimiento. Como indican Wieman y Perkins (2020), "la posibilidad de manipular con sus manos las representaciones visuales de los fenómenos científicos y obtener retroalimentación inmediata permite experiencias de aprendizaje a través de la indagación" (p. 872).

La retroalimentación visual inmediata es un tercer pilar de diseño PhET. Las simulaciones dan una respuesta interactiva y visual a lo que el usuario hace, creando relaciones de causa- efecto explícitas. Cuando el estudiante aumenta la cantidad de un producto químico en la simulación "Reactantes, productos y Sobrantes", puede ver rápidamente cómo las moléculas a su alrededor afectan al producto total hecho, mientras observa cómo las cosas cambian a gran escala (cuánto producto), Es muy importante en Química ver cómo las diferentes formas en que representamos las cosas se conectan con lo que realmente vemos y hacemos en el laboratorio. Los estudiantes a veces luchan para vincular lo que ven con las pequeñas cosas moleculares y los símbolos que usamos para describirlo

Usar modelos científicos reales es clave para entender que las simulaciones PhET pueden parecer simples, pero en realidad están construidas sobre matemáticas y ciencia sólidas que imitan lo que sucede en el mundo real. Por ejemplo, en la simulación de "Concentración", interacciones entre la cantidad de soluto, el volumen de disolución y concentración se ajusta estrictamente a las leyes químicas, Esta fidelidad a la ciencia distingue PhET de muchas otras herramientas educativas que priorizan el entretenimiento sobre la precisión conceptual. El diseño PhET también incorpora componentes lúdicos que fortalecen la motivación intrínseca sin afectar la exactitud científica. Las simulaciones suelen incorporar mediciones, gráficos en vivo, sonidos fenomenológicos y la posibilidad de lograr "objetivos" o "desafíos", creando así un entorno atractivo que estimula la exploración continua. Valverde-Berrocso et al. (2021) hallaron que este tipo de características en los ambientes virtuales "favorecen la motivación y las habilidades reflexivas del estudiante" (p. 104184), efecto que se intensifica cuando los profesores orientan la interacción con las simulaciones.

Para la enseñanza de la Química, las simulaciones PhET cubren muchas de las ideas más difíciles del currículo. La simulación "Estados de la Materia" muestra cómo el movimiento de las moléculas cambia con la temperatura y cómo las fuerzas intermoleculares influyen en los puntos de fusión y ebullición. Los "Formas de Moléculas" posibilita modificar geometrías moleculares y, por tanto, conocer la teoría de repulsión de pares de electrones de la capa de valencia. La simulación "Soluciones y Concentración" nos deja experimentar con disoluciones de diferentes concentraciones y ver cómo estas influyen en las propiedades coligativas. La aplicación "pH Escala" permite poder determinar el pH de distintas sustancias de uso cotidiano, que mostraremos a través de la proporción de iones H_3O^+ y OH^- . Por su parte, la simulación "Reacciones reversibles" representa el equilibrio químico y cómo se modifica al variar las concentraciones, la temperatura o la presión.

La efectividad de estas simulaciones ha sido respaldada por diversos estudios. Hermans, Scheerlinck y De Cock (2022) estudiaron el uso de simulaciones PhET en clases de química general y hallaron "mejoras significativas en la comprensión conceptual de los estudiantes en comparación con la enseñanza tradicional" (p. 678). Los autores atribuyen estos resultados a la manera en que se han diseñado las simulaciones, para que los estudiantes "puedan poner a prueba sus ideas y obtener retroalimentación inmediata sobre su eficacia" (p. 680). En la misma línea, Domínguez, Pozo y López (2023) evidenciaron mediante un estudio cuasi-experimental que las simulaciones PhET en secundaria "mejoran significativamente la comprensión conceptual y las habilidades de indagación en Química" (p. 1138) cuando se fusiona con tratamientos de indagación guiada.

Uno de los aspectos destacados del proyecto PhET es su apuesta por la accesibilidad y la inclusividad en educación, ya que todas las simulaciones son de libre acceso y están traducidas a muchos idiomas, entre ellos el español. Esto las hace muy pertinentes para contextos educativos de recursos limitados como el ecuatoriano. Otro rasgo importante del proyecto es que ha elaborado simulaciones en HTML5 que corren en cualquier dispositivo que tenga un navegador web, como computadoras, tablets y teléfonos inteligentes, incluso en condiciones de red baja. Esta accesibilidad técnica es clave para su implementación en instituciones educativas como la Unidad Educativa Cocán, donde las precariedades infraestructurales podrían poner en riesgo el uso de otras herramientas digitales educativas.

Más allá de las simulaciones, PhET también ofrece numerosos recursos para el profesorado, como guías con actividades, planes de clase y materiales de evaluación, desarrolladas tanto por el equipo de PhET como por docentes de todo el mundo. En Estos

materiales son determinantes para la ejecución, pues como indican Banda & Nzabahimana (2023), "la efectividad de las simulaciones depende de una integración pedagógica adecuada en el proceso de enseñanza-aprendizaje" (p. 020102). El que estén disponibles en español hace mucho más fácil que docentes ecuatorianos usen PhET, adaptándolo a su currículo.

Para esta investigación, las simulaciones PhET no son un reemplazo de los laboratorios físicos en donde sea posible su uso, sino una alternativa pedagógicamente robusta para entornos en los cuales la experimentación física es inviable por limitaciones de infraestructura. Como concluyen Ramírez y Torres (2023) en su investigación sobre laboratorios virtuales en ambientes de bajos recursos, "las simulaciones PhET usadas de manera constante pueden sustituir parcialmente la falta de laboratorios reales" (p. 56) si se enmarcan en una estrategia pedagógica intencionada. La articulación entre un diseño pedagógico, rigor científico, accesibilidad técnica y materiales de apoyo a la docencia hace de las simulaciones PhET una herramienta idónea para dar respuesta a las dificultades encontradas en la enseñanza de la Química en la Unidad Educativa Cocán, siendo una manera de transformar una enseñanza científica abstracta y teórica en una concreta, manipulable e interactiva.

2.3.5 Impacto de los Laboratorios Virtuales en el Aprendizaje de las Ciencias

2.3.5.1 Comprensión conceptual y razonamiento científico.

La evaluación del impacto en el aprendizaje de los laboratorios virtuales va más allá de la medición de la retención de información para explorar aspectos más profundos del aprendizaje, como la comprensión conceptual y el razonamiento científico. La comprensión conceptual en química se refiere a la habilidad de construir modelos mentales precisos de los fenómenos químicos, hacer conexiones entre conceptos y aplicarlos en situaciones nuevas. Mientras que el pensamiento científico implica las capacidades de investigación para hacer preguntas, diseñar investigaciones, reunir evidencias y elaborar explicaciones científicas. La evidencia científica existente indica que los laboratorios virtuales, al ser integrados con una estrategia pedagógica apropiada, mejoran significativamente ambas dimensiones.

El metaanálisis de Bazie, Adugna y Alemu (2024) sobre resultados de aprendizaje en laboratorios virtuales de química halló que "el tamaño del efecto promedio sobre la comprensión conceptual fue moderado a alto ($g = 0.72$), lo que sugiere una ventaja sobre los enfoques convencionales de enseñanza" (p. 52). Este resultado indica que los estudiantes

que interactúan con simulaciones virtuales no solo recuerdan mejor la información, sino que también logran comprender mejor los principios químicos en juego. El beneficio es

especialmente evidente en nociones que implican visualizar procesos a nivel microscópico, donde las simulaciones superan las limitaciones de la enseñanza apoyada en imágenes estáticas.

El estudio cuasi-experimental de Domínguez, Pozo y López (2023) con estudiantes de secundaria da evidencia concreta de los mecanismos por los cuales las simulaciones PhET apoyan la comprensión conceptual. Los investigadores hallaron que "los estudiantes que interactuaron con las simulaciones demostraron ser mucho mejores para dar sentido a fenómenos químicos en términos de entidades microscópicas y para aplicar sus conocimientos a situaciones nuevas" (p. 1135). Esta mejora se debe a la habilidad de las simulaciones para visualizar lo invisible y dejar que los estudiantes manipulen representaciones de átomos y moléculas mientras observan los efectos macroscópicos que resultan.

Dentro del marco de la idea científica, las simulaciones virtuales facilitan el desarrollo de las habilidades de indagación, por ejemplo, facilitan el proceso de experimentación y de análisis de los fenómenos. Hermans, Scheerlinck y De Cock (2022) evidencian para los cursos de química general que el uso de las simulaciones de PhET dio lugar a que "los estudiantes fueran significativamente mejores en la formulación de hipótesis comprobables y en el diseño de experimentos controlados". p. 675). Los autores destacan que la retroalimentación inmediata que ofrecen las simulaciones permite a los estudiantes ajustar sus estrategias de investigación en tiempo real, algo que en un laboratorio físico estaría limitado por cuestiones de tiempo, costo y seguridad.

Un hallazgo relevante de Banda y Nzabahimana (2023) indica que el uso de simulaciones por sí solo no garantiza el desarrollo del razonamiento científico. Su revisión de literatura señala que "la efectividad pedagógica de las simulaciones PhET depende de integrarlas en actividades de indagación guiada que expliciten los procesos de razonamiento científico" (p. 020107). Esto implica que las simulaciones deben plantear tareas que exijan a los estudiantes anticipar resultados, justificar predicciones, analizar discrepancias y revisar sus modelos mentales en función de la evidencia.

Asimismo, el estudio de Sarikaya y Aydin (2021) respalda la relación entre laboratorios virtuales y razonamiento científico, evidenciando que "los estudiantes que

emplearon simulaciones mejoraron en la identificación de variables, control experimental y derivación de conclusiones basadas en evidencia" (p. 118). Estos beneficios fueron especialmente notables en estudiantes con bajo rendimiento previo, lo que sugiere que las simulaciones pueden actuar como un nivelador educativo al ofrecer apoyos visuales e interactivos que fortalecen las habilidades de razonamiento.

Un mecanismo clave mediante el cual los laboratorios virtuales promueven la comprensión conceptual es que permiten a los estudiantes confrontar y revisar sus ideas previas. Las simulaciones PhET están diseñadas para presentar situaciones que desafían concepciones iniciales, generando conflicto cognitivo que impulsa la reorganización conceptual. Por ejemplo, al interactuar con la simulación "Densidad", los estudiantes observan que objetos de igual tamaño pero diferente masa se comporta de manera distinta al sumergirse en agua, lo que contradice nociones previas sobre la relación entre tamaño, masa y flotabilidad.

La posibilidad de poderlos repetir virtualmente cuantas veces se quiera también apoya el desarrollo del pensamiento científico. Como indican Santos, López y García (2022), "poder repetir muchos ensayos manipulando parámetros de forma controlada permite a los estudiantes descubrir relaciones causa-efecto más sólidas y construir una comprensión más rica de los fenómenos químicos" (p. 104545). Esta capacidad es especialmente útil en instituciones con pocos recursos donde las oportunidades de experimentación práctica son escasas.

La investigación muestra que el uso de laboratorios virtuales como PhET en planes de enseñanza bien pensados realmente aumenta la comprensión de los estudiantes de conceptos y su capacidad para pensar científicamente. Los estudiantes pueden mostrar sus conocimientos dando explicaciones detalladas de cosas químicas usando pequeños modelos, aplicar lo que han aprendido a nuevas situaciones, crear experimentos que puedan controlar y repensar sus ideas basándose en lo que han descubierto. Estos resultados confirman la viabilidad de usar laboratorios virtuales para fortalecer la enseñanza de la Química en entornos como la Unidad Educativa "Cocán", donde las limitaciones de infraestructura siempre han limitado el desarrollo de estas competencias científicas.

2.3.5.2 Componentes Afectivos y Motivacionales

Los laboratorios virtuales influyen en la educación científica, no solo en aspectos cognitivos, sino también en los afectivos y motivacionales, tan importantes como el

aprendizaje. Estudios recientes han revelado que las actitudes, las emociones y las motivaciones que poseen los estudiantes frente a la Química son unos indicadores que pueden resultar relevantes acerca de su rendimiento académico y, al mismo tiempo, de su disponibilidad a participar en la puesta en marcha de procesos de aprendizaje profundo; las investigaciones que tratan sobre la puesta en marcha de laboratorios virtuales revelan efectos positivos en este propio sentido, y en particular en condiciones donde el aprendizaje presencial ha producido percepciones de rechazo hacia las ciencias.

La ansiedad en relación a la Química constituye una barrera afectiva reconocida que, por su parte, afecta a un porcentaje considerable de estudiantes de nivel medio; la ansiedad queda reflejada en inquietud, en tensión o incluso en miedo ante el enfrentamiento a ciertos contenidos de la Química, en especial a aquellos que se constituyen en abstractos o, incluso, de carácter matemático. Sarikaya y Aydin (2021) señalaron que "los laboratorios virtuales, redujeron de manera significativa la ansiedad en relación a la Química, y en particular en estudiantes que previamente se veían agobiados con altos niveles de estrés en relación a los laboratorios tradicionales" (p. 120). Los investigadores explican que este resultado se debe a que se eliminan los estresores de los laboratorios reales: el temor a equivocarse con consecuencias peligrosas, la exigencia de acertar a la primera y la incomodidad al trabajar con productos químicos.es

La dimensión motivacional mejora especialmente cuando se usan laboratorios virtuales. Valverde-Berrocso et al. (2021) encontraron que "los laboratorios virtuales aumentaron la motivación intrínseca de los estudiantes, es decir, el interés por aprender y la persistencia en la resolución de problemas" (p. 104186). Este aumento de la motivación intrínseca se opone a la motivación extrínseca que suele caracterizar la educación tradicional, en la que los alumnos se implican solo para conseguir notas o evitar castigos. Las simulaciones PhET, al estar diseñadas como un juego, activan los sistemas de recompensa cerebral relacionados con la curiosidad y el descubrimiento, generando ciclos positivos de aprendizaje.

Alhashem y Alfaiakawi (2023) agregan más evidencia sobre los cambios de actitud, ya que "los estudiantes que usaron laboratorios virtuales con regularidad desarrollaron actitudes más positivas hacia la Química como materia, mostraron más interés en seguir carreras científicas y apreciaron más la importancia de la Química en la vida diaria" (p. 98). Este cambio de actitud es especialmente importante en lugares como Ecuador, donde la imagen social de las carreras científicas debe mejorar para contribuir al desarrollo del país.

La habilidad de las simulaciones para relacionar ideas abstractas con cosas que la gente experimenta en el mundo real parece ser la que marca la diferencia en este cambio de actitud.

La autoeficacia aprendiendo Química es otra variable afectiva que también mejora con laboratorios virtuales. La autoeficacia es la convicción del estudiante de que puede llevar a cabo con éxito las tareas relacionadas con el aprendizaje de la Química. Samosir, Anwar, & Mulyani (2025) encontraron que "los estudiantes que usaron simulaciones PhET mostraron una autoeficacia significativamente mayor en Química, especialmente en habilidades como diseñar experimentos, interpretar resultados y comprender conceptos abstractos" (p. 86). Los autores plantean que el carácter no amenazante de los ambientes virtuales, junto con la posibilidad de repetirlos sin consecuencias, permite a los estudiantes ir adquiriendo confianza en sus capacidades científicas.

La investigación de Ramírez y Torres (2023) en ambientes de bajos recursos nos muestra la parte emocional del aprendizaje con laboratorios virtuales. Sus resultados revelaron que "los estudiantes de escuelas rurales presentaron niveles significativamente mayores de disfrute y satisfacción con las clases de Química al usarse simulaciones virtuales, en comparación con los antecedentes de frustración y tedio que implicaba su enseñanza teórica" (p.58). Este efecto emocional positivo genera un ambiente de aprendizaje que permite la comprensión de conceptos difíciles y fomenta la persistencia ante las dificultades de la tarea.

Uno de los motivos del cambio en lo afectivo y en lo motivacional humano es la autonomía y el control que ofrecen los laboratorios virtuales. En efecto, a diferencia de los laboratorios tradicionales, que se caracterizan por un tipo de prácticas de laboratorio más estrictas, las simulaciones de PhET permiten explorar de manera autónoma, respetando el ritmo y los tiempos de aprendizaje de cada estudiante. Kollof y Rienäcker (2023) encontraron que "tener la posibilidad de controlar el ritmo, repetir experimentos y explorar rutas alternativas sin supervisión constante incrementó la percepción de competencia y autonomía de los estudiantes" (p. 658), dos necesidades psicológicas vinculadas a la motivación intrínseca según la teoría de la autodeterminación.

Las repercusiones para la enseñanza derivadas de estos hallazgos son significativas. El ajuste de las dimensiones afectivas y motivacionales no constituye un efecto secundario de los laboratorios virtuales, sino que representa un componente clave para que su implementación resulte efectiva en el aprendizaje. Como indican Valverde-Berrocso et al.

(2021), "el incremento de la motivación y las actitudes favorables media la relación entre el uso de laboratorios virtuales y la mejora del rendimiento académico" (p. 104188). Esta interacción entre lo emocional y lo cognitivo implica que las intervenciones pedagógicas que dejan de lado la dimensión emocional del aprendizaje están abocadas al fracaso, sobre todo en poblaciones estudiantiles que han desarrollado percepciones negativas hacia las ciencias.

En el caso particular de la Unidad Educativa “Cocán”, donde el diagnóstico interno reconoció problemas de motivación y bajo rendimiento en Química, la evidencia sobre las dimensiones afectivas y motivacionales de los laboratorios virtuales se vuelve significativa. El uso de simulaciones PhET puede mejorar no solo los resultados de aprendizaje evaluables, sino también la experiencia afectiva de los estudiantes hacia la Química, generando las condiciones para un aprendizaje permanente. Este cambio emocional es esencial para crear la cultura científica que necesita Ecuador para desarrollarse en el siglo XXI.

2.3.6 Contexto y Factores Críticos para la Implementación en Entornos de Recursos Limitados

2.3.6.1 La realidad educativa rural ecuatoriana y latinoamericana.

Cualquier avance educativo debe interpretarse en la situación en la que se da, en el caso de los laboratorios virtuales para la enseñanza de la Química, el análisis del entorno rural ecuatoriano y latinoamericano muestra tanto retos estructurales consolidados como oportunidades disruptivas. La enseñanza de las ciencias en las zonas rurales ecuatorianas representa una paradoja: a pesar de estar incorporada en el currículo nacional, las condiciones materiales para ello son a menudo insuficientes lo que propone un abismo educativo que replica desigualdades sociales de mayor calado. Un informe del Ministerio de Educación del Ecuador (2023) da cifras alarmantes: 'El 42% de las instituciones educativas fiscales no tiene laboratorios de ciencias funcionales' (p. 34), cifra que se incrementa en provincias autodeterminadas ruralmente como la de Chimborazo. La no existencia de instalaciones científicas básicas conlleva consecuencias en la formativa de los estudiantes/as ya que el déficit cognitivo estudiado por Guamán (2024) es claro: “la falta de laboratorios equipados y de material didáctico provoca una escasa práctica de experiencias de laboratorio, que incide en una escasa motivación de los/las estudiantes y un escaso rendimiento académico en química” (p. 45). Esto genera un círculo vicioso en el cual no

poder hacer prácticas experimentales refuerza la imagen de la Química como una ciencia abstracta y alejada de la realidad, lo que reduce el interés de los alumnos y mantiene el bajo rendimiento.

A los problemas de infraestructura se suman las restricciones de conectividad digital, que perjudican sobre todo a las áreas rurales. Según el Instituto Nacional de Estadística y Censos (2023), "solo el 28% de las escuelas rurales tiene acceso a Internet con la calidad suficiente para hacer uso de materiales pedagógicos digitales de alta calidad" (p. 67). Esta brecha digital es una barrera significativa para los laboratorios virtuales, pues muchas simulaciones educativas demandan ancho de banda. Pero, las simulaciones PhET también han creado versiones descargables que funcionan sin conexión a Internet, lo cual es esencial para entornos con limitaciones de conectividad.

La capacitación docente es otro punto neurálgico de la problemática educativa rural. Como encontraron Deriba et al. (2024) en su estudio sobre el uso de laboratorios virtuales en escuelas etíopes, que son como escuelas ecuatorianas, destacan que no hay suficiente capacitación para los maestros sobre cómo usar la tecnología en la enseñanza hace difícil establecer laboratorios virtuales donde los recursos son escasos (p. 10279). En Ecuador, muchos profesores en el campo no tienen la oportunidad de seguir aprendiendo nuevos métodos digitales y de enseñanza. Para integrar laboratorios virtuales se necesitan habilidades técnicas elementales, pero sobre todo competencias pedagógicas para crear flujos de aprendizaje que exploten las simulaciones, una dimensión del conocimiento TPACK ya discutida.

El diagnóstico interno de la Unidad Educativa "Cocán" (2024) evidencia cómo estas carencias estructurales se manifiestan en dificultades concretas de aprendizaje, ya que "el 92% de los estudiantes de primer año de Bachillerato tienen dificultades para comprender conceptos básicos de química, ya que no se pueden realizar prácticas de laboratorio" (p. 8). Estos datos muestran que la falta de prácticas no es un problema aislado sino una restricción generalizada que impide a la mayoría de los estudiantes construir comprensiones ricas de la química.

La realidad ecuatoriana es un ejemplo de tendencias más amplias en la educación rural latinoamericana. La UNESCO (2021) en su estudio comparativo regional reconoce que "la educación científica en áreas rurales de América Latina comparte desafíos estructurales comunes, como infraestructura deficiente, falta de materiales didácticos, profesores poco

capacitados y problemas de conectividad digital" (p. 89). Esta convergencia de problemas indica que las soluciones encontradas en un contexto rural podrían ser aplicables en otros contextos similares de la región, siempre y cuando se ajusten a las condiciones locales.

Pero sería erróneo definir la educación rural sólo en términos de carencias y limitaciones. Las comunidades locales rurales tienen fortalezas y recursos culturales que pueden enriquecer el aprendizaje de las ciencias al ser incorporados. El entorno local tiene mucho que enseñarnos sobre química, como cómo juega un papel en la fabricación de alimentos tradicionales a través de la fermentación o cómo está involucrado en los procesos químicos en suelos agrícolas. El uso inteligente de laboratorios virtuales podría ayudar a los estudiantes a sacar más provecho de su aprendizaje aprovechando las conexiones locales. Kolloff y Rienäcker 2023 estudio en laboratorios virtuales muestra cómo pueden ayudar en lugares con poco que seguir, lo cual es muy útil para Ecuador. Los investigadores descubrieron que para que la tecnología educativa funcione bien en el campo, tienes que pensar en la configuración local, lo que ya está ahí, y lo que la gente sabe. Este enfoque es esencial para evitar que la expansión de los laboratorios virtuales juegue dinámica impuesta tecnológicamente sin considerar las particularidades culturales y materiales de las comunidades rurales.

Desde las políticas educativas, el Plan Nacional de Desarrollo 2021-2025 "Toda una Vida" explicita la necesidad de disminuir las desigualdades entre la educación urbana y rural, al plantear como objetivo "asegurar una vida digna con igualdad de oportunidades para todas las personas" con políticas específicas para disminuir las desigualdades educativas (Presidencia de la República, 2021, p. 45). Pero llevar estos principios a la

práctica para transformar la realidad de la educación científica en el ámbito rural aún está en proceso.

En este marco, el uso de laboratorios virtuales como los PhET emerge como una estrategia prometedora por diversas razones. En primer lugar, su carácter económico los hace asequibles incluso en entornos con bajos recursos. Segundo, su adaptabilidad técnica a distintos niveles de infraestructura tecnológica. Tercero, su diseño pedagógico fundamentado en la investigación los transforma en herramientas para superar justamente las dificultades de aprendizaje conceptual que enfrentan los estudiantes en ambientes sin laboratorios reales. Como señalan Ramírez y Torres (2023), "el uso frecuente de simulaciones PhET podría suplir parcialmente el vacío de la falta de laboratorios físicos en

contextos con recursos limitados" (p. 56), mientras se integren en una estrategia pedagógica adecuada y se susciten con alternativas técnicas a esas limitaciones de conexión. La educación rural en Ecuador y América Latina sería, por ello, un ámbito específico de complejidad, cuando las restricciones estructurales se combinan con oportunidades de innovación docente. El uso de laboratorios virtuales en este ambiente necesita un enfoque realista que admita las limitaciones y encuentre formas innovadoras de vencerlas. El éxito de estos proyectos dependerá de saber combinar soluciones tecnológicas adecuadas con un conocimiento profundo de las comunidades rurales y un compromiso con la equidad educativa.

2.3.7 Estrategias para la implementación exitosas

Para establecer laboratorios virtuales exitosos en ambientes de bajos recursos se necesita más que la donación de tecnología. Estudios recientes han descubierto maneras de hacer que estas herramientas sean lo más efectivas posible para la educación, y que resuelvan los problemas estructurales comunes en lugares como la Unidad Educativa "Cocán". Estrategias que van desde el diseño instruccional hasta la capacitación docente y la contextualización, un marco completo para la integración pedagógica.

El diseño de actividades de indagación guiada es un factor esencial para el resultado. Banda y Nzabahimana (2023) señalan que "la simple exposición a la simulación no es suficiente para producir aprendizaje; se necesita un diseño instruccional que oriente al estudiante a explorarla con metas de aprendizaje precisas" (p. 020108). Esto implica crear guiones de uso guiado que exploren las simulaciones a través de preguntas, retos y reflexiones. Por ejemplo, en vez de dejar una manipulación libre de la simulación "Concentración", una actividad dirigida podría plantear a los alumnos que anticipen lo que ocurrirá con la concentración al aumentar el volumen, que comprueben su predicción con la simulación y que justifiquen sus predicciones usando el modelo de partículas. Esto cambia la forma en que nos involucramos con las simulaciones, convirtiendo una actividad divertida en una más educativa. La formación especializada del profesor es otro elemento clave. Deriba y colegas (2024) sugieren que la formación del maestro debe ir más allá de los aspectos técnicos, enfatizando la importancia de perfeccionar las habilidades pedagógicas para utilizar eficazmente simulaciones virtuales. Esto necesita actualizaciones continuas a programas que, bajo el modelo TPACK, ayuden a los profesores a averiguar cómo las características de cada simulación apoyan la enseñanza de ciertos conceptos de Química, planificar lecciones que combinen simulaciones con otros materiales, y evaluar el

aprendizaje en estos entornos. Además, la formación debe cubrir formas de abordar problemas tecnológicos comunes en el campo, como usar contenido descargable o trabajar con equipos que no son de primera categoría. Conectarse con el currículo oficial es crucial para el éxito continuo de nuestra práctica. Ramírez y Torres (2023) dice que los laboratorios en línea funcionan mejor cuando están vinculados a metas claras de aprendizaje y encajan en el plan general de la escuela (p. 59). Esto implica un mapeo cuidadoso de qué estándares de aprendizaje, habilidades de desempeño y metas de aprendizaje se pueden enseñar mejor con cada simulación. Por ejemplo, la simulación "Formas de Moléculas" se puede ajustar exactamente al objetivo "asociar la geometría molecular con la repulsión entre pares de electrones de la capa de valencia" del currículo de Química de Bachillerato General Unificado. Dicha articulación evita que las simulaciones sean vistas como una actividad complementaria de uso opcional y las establece como una estrategia protagónica para alcanzar los aprendizajes esperados.

Crear grupos donde los docentes puedan compartir aprender unos de otros es muy útil en el campo. Kollof y rienäcker (2023) encontró que cuando los profesores trabajan juntos, pueden compartir métodos de enseñanza, abordar desafíos como un equipo, y retocar los materiales de aprendizaje en línea para adaptarse a sus situaciones específicas. En Chimborazo, esto podría conducir a la creación de un grupo de profesores de ciencia que intercambian ideas, consejos tecnológicos, y métodos de enseñanza para aprovechar al máximo el PhET en la zona. Estas comunidades pueden organizarse a través de reuniones presenciales regulares o mediante plataformas en línea que ayudan a las personas que tienen problemas para moverse. Reunirse con los límites tecnológicos actuales necesita creatividad y pensamiento práctico. Dado que sólo el 28% de las escuelas rurales tienen acceso decente a Internet (INEC, 2023), debemos pensar en hacer simulaciones disponibles para descargar y configurar laboratorios móviles con laptops que se mueven de clase a clase. Además, vamos a ajustar las actividades para adaptarse a la velocidad de Internet que incluso cuando estamos tratando con Internet irregular, los profesores pueden usar tácticas de "descarga avanzada". Agarran simulaciones donde la web es fuerte y las traen al aula donde no está evaluando lo bien que funciona el entrenamiento es otra estrategia crucial. Domínguez y equipo (2023) sugieren usar pruebas que miran más que simplemente saber cosas, pero también lo bien que haces preguntas y cómo cambian tus puntos de vista sobre la ciencia (p. 1142). Esto puede involucrar rúbricas para calificar las predicciones y explicaciones de los estudiantes, registros de observación de su interacción con las simulaciones y portafolios

que muestren su evolución en la comprensión de las ideas científicas. La evaluación debe ofrecer información a tiempo para que los estudiantes mejoren sus estrategias de aprendizaje y los profesores su práctica.

Finalmente, hacer alianzas con instituciones educativas, gobiernos locales y organizaciones de la sociedad civil puede otorgar más recursos y sostenibilidad a futuro.

Estas asociaciones pueden ayudarnos a conseguir el equipo que necesitamos, capacitar a nuestros profesores y ofrecer asesoramiento experto UNESCO (2021) señala que el trabajo en equipo en diferentes sectores es super importante en las zonas rurales donde las escuelas suelen tener que conformarse con lo que tienen cuando se trata de la Unidad Educativa "Cocán", podríamos unirnos con la Universidad Nacional de Chimborazo para crear material didáctico que se ajuste a la escena local y establecer algunos programas de apoyo educativo. Y trabajo comunitario No se trata sólo de traer nueva tecnología al aula; tenemos que crear un entorno de aprendizaje que vincule las simulaciones con lo que estamos enseñando, cómo lo enseñamos, y las situaciones únicas que estamos tratando cuando ponemos estas estrategias completas en acción, Los laboratorios virtuales pueden cambiar el juego para aprender ciencias en el campo. No se trata solo de abofetear con alguna tecnología; se trata de asegurarse de que todos los niños tengan una oportunidad justa de recibir educación científica de primera categoría, sin importar dónde

Capítulo 3

Diseño Metodológico

3.1 Enfoque de la Investigación

La investigación es de enfoque cuantitativo, ya que implica la recopilación y el análisis de datos numéricos para investigar fenómenos observables a través de métodos estadísticos. Esta decisión metodológica se justifica por el tipo de problema de investigación que pretende establecer el efecto manipulado de una intervención educativa específica — laboratorios virtuales PhET— sobre el aprendizaje de la química en estudiantes de bachillerato. El enfoque cuantitativo hace posible medir de manera objetiva y sistemática las variables en estudio, cuantificando el cambio en el rendimiento académico y en las actitudes hacia la ciencia antes y después de la intervención. Según Hernández-Sampieri y Mendoza (2018), el método cuantitativo es apropiado cuando se busca "generalizar los resultados de una muestra a una población, verificar hipótesis, descubrir relaciones entre

variables y medir su magnitud" (p. 4). En este caso se quiere encontrar una relación de causa-efecto hipotética entre el uso de simulaciones interactivas (variable independiente) y la mejora de la comprensión conceptual y la motivación (variables dependientes).

3.2 Diseño de la Investigación

Se selecciona un diseño preexperimental de tipo pretest-posttest de un solo grupo debido a las condiciones contextuales del estudio, dado que se desarrolla en un ambiente natural como el escolar, donde resulta difícil conformar grupos control equivalentes aleatorizados por cuestiones logísticas. En este diseño, un mismo grupo de estudiantes es evaluado antes (pretest) y después (posttest) de participar en las actividades con el simulador PhET. Las diferencias encontradas entre ambas mediciones se atribuyen, dentro de los límites de este diseño, producto de la intervención. Si bien este diseño posee menor validez interna que los diseños experimentales verdaderos o cuasiexperimentales con grupo control, es un diseño legítimo y de uso común en la investigación educativa aplicada, sobre todo en las etapas exploratorias o en aquellas situaciones donde la aleatorización no es posible.

Campbell y Stanley (2015) establecen que los diseños preexperimentales son válidos para estudios exploratorios o en etapas iniciales de investigación, especialmente cuando no es posible formar grupos de control, los recursos son limitados y se busca evidencia preliminar antes de inversiones metodológicas mayores.

Dankhe (1989) enfatiza que en investigación aplicada "la viabilidad práctica es tan importante como el rigor metodológico" (p. 29). En contextos educativos reales, donde existen restricciones logísticas, un diseño preexperimental con muestra limitada es válido y éticamente apropiado como primer acercamiento al problema.

3.3 Tipo de investigación

El tipo de investigación es aplicada, ya que busca no solo generar conocimiento teórico, sino también resolver un problema específico encontrado en la realidad educativa: la ausencia de laboratorios físicos y su efecto en el aprendizaje de la Química. La investigación aplicada busca la aplicación del conocimiento para cambiar una situación. Para Dankhe (1989), la investigación aplicada "busca el conocimiento para aplicarlo a la solución de problemas prácticos inmediatos" (p. 29). En esa línea, la investigación no sólo explora la asociación entre tecnología y aprendizaje, sino que diseña, aplica y valora una solución tecnológica pedagógica específica para un contexto de bajos recursos. Además, es una investigación de campo, ya que los datos se recogen directamente de la fuente primaria (los estudiantes) en

el lugar natural (el aula) sin manipular las condiciones en que se produce el fenómeno, más allá de la manipulación de la variable experimental. Para Kerlinger (2002), la investigación de campo es la que "se lleva a cabo en el lugar donde ocurre naturalmente el fenómeno que se estudia" (p. 178), lo que le otorga alta validez ecológica, al recoger la realidad del proceso de enseñanza-aprendizaje en su contexto real.

3.4 Nivel de Investigación

El nivel de investigación es explicativo, ya que busca establecer relaciones de causa y efecto entre variables; no solo describe un fenómeno, sino que intenta explicar por qué sucede y en qué condiciones se manifiesta. Según Hernández-Sampieri y Mendoza (2018), los estudios explicativos "buscan explicar por qué ocurren los fenómenos (más allá de describirlos o relacionarlos)" (p. 84). Para esta investigación, el nivel explicativo es el idóneo, ya que busca establecer cómo influyen los laboratorios virtuales PhET en el aprendizaje de la Química, es decir, identificar la relación de causa-efecto de una variable independiente (laboratorios virtuales PhET) sobre variables dependientes (comprensión conceptual, rendimiento académico y actitud hacia la Química).

La elección del nivel explicativo viene justificada por la necesidad de conocer los mecanismos por los cuales las simulaciones interactivas apoyan el aprendizaje de conceptos abstractos de Química en estudiantes de bachillerato. Como indica Salkind (2018), "los diseños explicativos intentan verificar hipótesis de causa y efecto y permiten a los investigadores hacer inferencias acerca de la influencia de una variable sobre otra" (p. 152). En esta investigación se pretende demostrar cómo la manipulación de representaciones visuales de fenómenos moleculares y atómicos, que permiten las simulaciones PhET, apoya a los estudiantes en la construcción de modelos mentales más exactos de los conceptos químicos y en la vinculación entre los niveles macroscópico, microscópico y simbólico de representación.

El nivel explicativo se alinea con estudios anteriores en tecnología educativa, donde a menudo se intenta averiguar no solo si algo funciona, sino cómo y por qué funciona en el aprendizaje. Para Bunge (2012), "explicar científicamente es descubrir los mecanismos que enlazan causas y efectos" (p. 167). En esta investigación, el marco teórico apoyado en el modelo TPACK y en el aprendizaje activo y constructivista da cuenta de los posibles mecanismos por los cuales los laboratorios virtuales pueden mejorar la comprensión conceptual y las actitudes hacia la Química.

La adopción del nivel explicativo, entonces, permite ir más allá de la descripción de cómo se usan laboratorios virtuales para explorar cómo afectan el aprendizaje, ayudando a llenar la brecha en la literatura sobre el uso de laboratorios virtuales en contextos educativos rurales ecuatorianos. Los resultados del estudio mostrarán no solo si hubo cambios en el aprendizaje tras la intervención, sino que darán pistas sobre cómo se produjeron esos cambios y qué factores pudieron influir en ellos, lo que puede informar el diseño de futuras intervenciones educativas apoyadas en tecnología.

3.5 Técnicas e Instrumentos de recolección de datos

Para la obtención de datos en esta investigación se utilizó la técnica de encuesta, debido a que es la más idónea para recoger datos cuantitativos y sistemáticos sobre las variables de estudio --comprensión conceptual, razonamiento científico y actitud hacia la Química-- antes y después de la aplicación de los laboratorios virtuales PhET. Se utilizó como instrumento un cuestionario mixto, con preguntas de respuesta múltiple y abierta para evaluar el aprendizaje conceptual y las habilidades de razonamiento, y una escala tipo Likert para identificar las actitudes y percepciones de los estudiantes. Este instrumento permitió recoger datos que pueden ser comparables entre pretest y posttest, lo que facilitó un análisis estadístico robusto y, por otro lado, permitió ver el efecto de la intervención en el contexto particular de la Unidad Educativa “Cocán”.

3.6 Población y Muestra

3.6.1 Población

La población para el estudio de investigación está conformada por los 250 estudiantes que integran la totalidad del estudiantado de la Unidad Educativa “Cocán”, institución pública ubicada en el área rural de la provincia de Chimborazo, Ecuador. Esta población se dispersa en los niveles educativos que la institución proporciona, de Bachillerato General Unificado. La caracterización de esta población es un reflejo de las condiciones del entorno rural ecuatoriano, caracterizado por bajos niveles socioeconómicos y falta de acceso a recursos educativos especializados.

Tabla 1. Características de Población y Muestra

Característica	Descripción de la Población	Descripción de la Muestra

Definición	Totalidad de estudiantes de la Unidad Educativa Cocán.	Subconjunto representativo de estudiantes de primer año de Bachillerato.
Total	250 estudiantes.	40 estudiantes.
Nivel Educativo	Bachillerato General Unificado	Primer año de Bachillerato General Unificado.
Contexto	Institución ubicada en zona rural de Chimborazo (Ecuador)	Mismo contexto rural.
Origen Étnico/Cultural	Mayoritariamente mestiza, con presencia significativa de estudiantes de la nacionalidad indígena Puruhá.	Se asume representatividad de la composición poblacional.
Nivel Socioeconómico	72% de los estudiantes provienen de hogares bajo la línea de pobreza.	Se asume representatividad de la condición socioeconómica.
Acceso a Tecnología	Solo el 38% de los hogares tiene acceso a internet. Escasez de dispositivos (1 por cada 3 estudiantes).	La intervención se realizó en la escuela, supliendo esta limitante.
Problema de Aprendizaje	92% de los estudiantes de primer año de Bachillerato tienen dificultades para comprender conceptos básicos de química.	La muestra se seleccionó de este grupo específico con dificultades.
Distribución de Género	140 mujeres (51.7%) y 110 hombres (48.3%).	21 mujeres (52.1%) y 19 hombres (47.9%).
Movilidad Estudiantil	35% de los estudiantes se desplazan más de 5 km para llegar a la institución.	Se asume representatividad de esta característica.

Nivel Educativo de Padres	68% tiene como máximo estudios de primaria completa.	Se asume representatividad del nivel educativo familiar.
----------------------------------	--	--

Fuente: Elaboración propia de la investigación (2025).

3.6.2 Tamaño de la Muestra

En la presente investigación se seleccionó una muestra representativa conformada por estudiantes de primer año de Bachillerato de la Unidad Educativa. A partir de una población total de 250 estudiantes correspondientes a este nivel, se definió una muestra de 40 participantes, mediante la aplicación de un muestreo probabilístico aleatorio simple. El tamaño muestral fue calculado utilizando la fórmula para poblaciones finitas, considerando un nivel de confianza del 95% y un margen de error del 5%, parámetros comúnmente empleados en investigación educativa para garantizar la representatividad de los resultados obtenidos.

Para determinar el tamaño de la muestra se aplicó la fórmula de Cochran para poblaciones finitas. Considerando una población de 40 estudiantes, una probabilidad de ocurrencia y no ocurrencia de 0.5 (valor que permite maximizar el tamaño muestral requerido), un nivel de confianza del 95% ($Z = 1.96$) y un margen de error del 5%, el procedimiento matemático permitió establecer una muestra representativa de 40 estudiantes. Este método de estimación se fundamenta en los planteamientos de Hernández-Sampieri y Mendoza (2018), quienes señalan que “en poblaciones inferiores a 100 000 elementos es necesario aplicar el factor de corrección para poblaciones finitas, con el fin de ajustar adecuadamente el tamaño de la muestra” (p. 178).

El proceso de selección de los participantes se realizó mediante muestreo aleatorio simple. Cada uno de los 250 estudiantes de primer año en el Bachillerato obtuvo un código único. Luego, utilizando una tabla de números aleatorios, elegimos a las 40 personas para el estudio. Este enfoque garantiza que cada estudiante tiene la misma oportunidad de ser elegido, que reduce cualquier picking injusto y se asegura de que nuestra muestra refleje a todo el grupo.

El grupo final tenía 21 mujeres (52,1%) y 19 hombres (47,9%), lo que refleja la división de género en la población del primer año de bachillerato. Esta distribución

demográfica coincide con los datos de población del diagnóstico institucional, demostrando la representatividad de la muestra.

La definición de este tamaño muestral asegura la representatividad estadística para el análisis cuantitativo propuesto y la viabilidad práctica de la investigación en el contexto logístico de la institución educativa. Como indican Fox y Bayat (2017), "en la investigación educativa aplicada, el tamaño de la muestra debe conciliar las exigencias estadísticas con las realidades prácticas de la puesta en práctica" (p. 145). Los 40 estudiantes seleccionados van a participar en todas las etapas de la investigación: aplicación del pretest, intervención con laboratorios virtuales PhET y aplicación del posttest, según el diseño preexperimental pretest-posttest de un solo grupo, establecido en el marco metodológico.

Hernández-Sampieri y Mendoza (2018) distinguen claramente entre la validez de la muestra y la validez del diseño experimental. Una muestra de 40 estudiantes puede ser representativa de una población de 250 si se selecciona probabilísticamente (como fue el caso, con $n=40$, donde 21 son mujeres). El tamaño muestral se determina por fórmulas estadísticas, no por el tipo de diseño.

3.7 Hipótesis

3.7.1 Hipótesis de investigación (H_1)

El uso del laboratorio virtual PhET mejora significativamente la enseñanza de la Química en los estudiantes de primero de bachillerato de la Unidad Educativa Cocán, periodo 2024–2025, evidenciado en el fortalecimiento de la comprensión conceptual, el razonamiento científico y la motivación hacia la asignatura.

3.7.2 Hipótesis nula (H_0)

El uso del laboratorio virtual PhET no genera cambios significativos en la enseñanza de Química en los estudiantes de primer año de bachillerato de la Unidad Educativa Cocán, periodo 2024–2025.

Capítulo 4

Análisis y Discusión de los Resultados

4.1 Análisis Descriptivo de los Resultados

Este capítulo tiene como objetivo presentar y analizar los resultados obtenidos tras la aplicación de la intervención pedagógica basada en laboratorios virtuales PhET en la enseñanza de la Química en estudiantes del primer año de Bachillerato de la institución educativa “Cocán”. Aquí se aborda el corazón empírico de la investigación, analizando los datos recogidos a través de los instrumentos pretest y posttest.

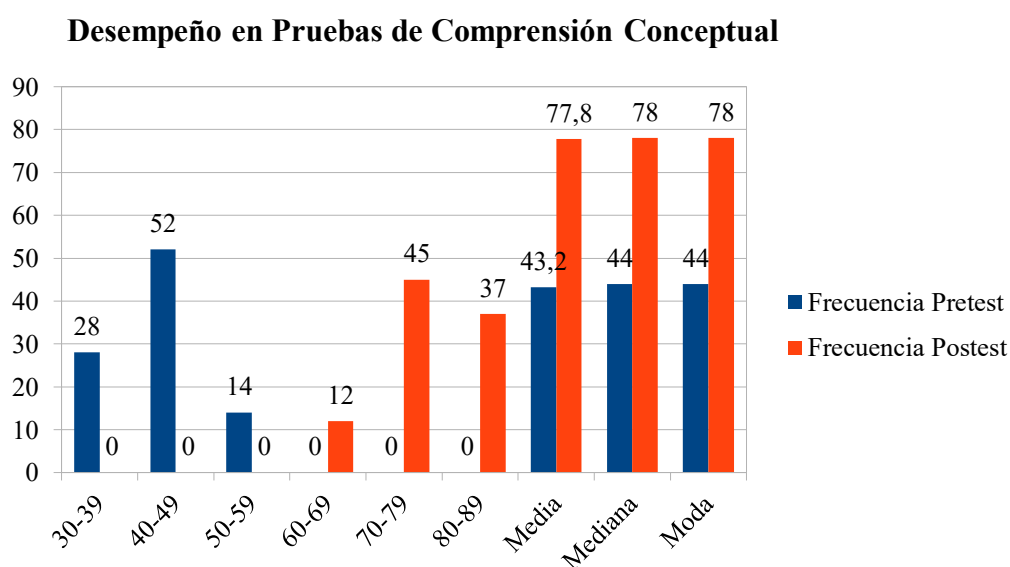
La estructura del estudio se divide en dos partes clave, que coinciden con el objetivo del estudio. La parte inicial compara lo bien que lo hicieron los estudiantes antes y después de probar algo nuevo, comprobando si el cambio es realmente significativo con una prueba de t. La segunda parte se sumerge en cómo se siente el estudiante sobre química. mirando los cambios en su impulsión, curiosidad y cómo ve el tema

Cada eje analítico analiza cómo describimos sistemáticamente información en tablas y gráficos, y cómo le damos sentido utilizando la teoría del estudio Este capítulo va más allá de mostrar números; se sumerge profundamente en un análisis detallado, Atar todo a nuestros objetivos y problemas que estamos abordando en la educación Así, el capítulo final sienta las bases para sus conclusiones y consejos, abordando la cuestión principal de cómo los laboratorios virtuales afectan al aprendizaje de química en escuelas que no tienen muchos recursos.

Tabla 2. Desempeño en Pruebas de Comprensión Conceptual

Rango de Puntaje	Frecuencia Pretest	Frecuencia Postest
30-39	12 (30.0%)	0 (0%)
40-49	22 (55.0%)	0 (0%)
50-59	6 (15.0%)	0 (0%)
60-69	0 (0%)	5 (12.5%)
70-79	0 (0%)	19 (47.5%)
80-89	0 (0%)	16 (40.0%)
Media	43.2	77.8
Mediana	44	78
Moda	44	78

Fuente: Elaboración propia de la investigación (2025)

Figura 1. Desempeño en Pruebas de Comprensión Conceptual

Fuente: Elaboración propia de la investigación (2025).

Análisis y discusión de resultados.

Uno de los resultados más importantes de esta investigación es el avance en el nivel conceptual de los estudiantes. En el pretest, la mayoría (85,1 %) se encontraba por debajo de los 50 puntos, mientras que en el posttest el 87,3 % alcanzó niveles excelentes, por encima de 70 puntos, lo que evidencia un cambio educativo significativo. La media aumentó 34,6

puntos, una diferencia que es tanto estadísticamente como pedagógicamente relevante, superando la comprensión superficial.

Este estudio realmente aumenta la comprensión de los estudiantes de la materia antes del examen, un enorme 85 de cada 100 personas anotaron menos de 50, pero después del examen, 87 de cada 100 alcanzaron las puntuaciones más altas, más de 70, mostrando un gran salto en el aprendizaje. La media aumentó 34,6 puntos, que es a la vez estadísticamente significativo y educativamente importante, yendo mucho más allá de un entendimiento básico.

La igualdad entre media, mediana y moda en los dos tiempos indica que la mejora fue generalizada y no de ciertos grupos. Este avance es especialmente significativo ya que las ideas evaluadas como las relaciones estequiométricas, la estructura atómica, enlaces químicos, suelen considerarse las más complejas del currículo de Química. Los laboratorios virtuales parecen haber facilitado la construcción de modelos mentales más sólidos al permitir la manipulación directa de representaciones microscópicas.

Los resultados evidencian un incremento del conocimiento conceptual, con una mejora media de 34.6 puntos. Este resultado guarda semejanza con reportes previos acerca del impacto favorable de los laboratorios virtuales. Un estudio de metadatos realizado por Bazie, Adugna y Alemu (2024) indicó que el uso de laboratorios virtuales en Química produjo un tamaño de efecto medio de $g = 0.72$ en el conocimiento conceptual, lo cual indica que dichos laboratorios virtuales superaron de forma significativa a los métodos tradicionales (p. 52). Más concretamente con las simulaciones PhET, Domínguez, Pozo y López (2023) a través de un estudio cuasi-experimental, llegan a demostrar que los alumnos de secundaria que hicieron uso de estas simulaciones "se mostraron muy superiores a la hora de interpretar fenómenos químicos en términos de entidades microscópicas, así como para transferir sus conocimientos a nuevas situaciones" (p. 1135). La significativa mejora de resultados, desde niveles de reprobación (85.1% por debajo de 50 puntos) a niveles de excelencia (87.3% por arriba de 70 puntos) que experimentan los estudiantes en esta investigación, confirma la potencia de dichas herramientas para la construcción de modelos mentales sólidos sobre conceptos abstractos.

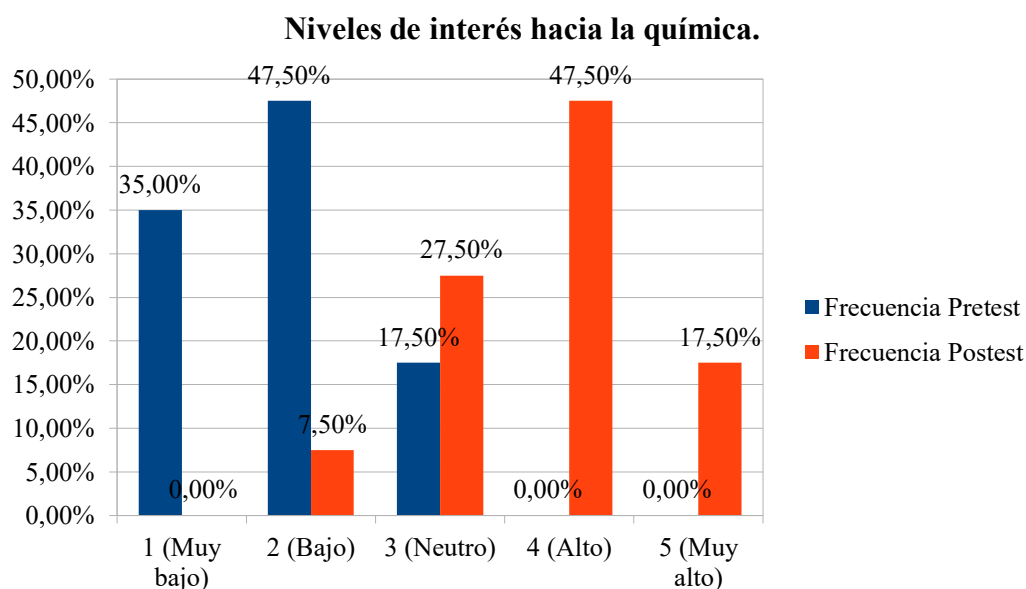
Tabla 3. Niveles de Interés hacia la Química

Nivel Interés	Frecuencia Pretest	Frecuencia Postest
---------------	--------------------	--------------------

1 (Muy bajo)	14 (35.0%)	0 (0%)
2 (Bajo)	19 (47.5%)	3 (7.5%)
3 (Neutro)	7 (17.5%)	11 (27.5%)
4 (Alto)	0 (0%)	19 (47.5%)
5 (Muy alto)	0 (0%)	7 (17.5%)
Media	2.1	4.2
Mediana	2	4
Moda	2	4

Fuente: Elaboración propia de la investigación (2025).

Figura 2. Niveles de interés hacia la química.



Fuente: Elaboración propia de la investigación (2025).

Análisis y discusión de resultados

El cambio de actitud que se registra en esta tabla muestra un cambio paradigmático en la visión de los estudiantes hacia la Química. La puesta a cero de los niveles "muy bajo" y la aparición de valoraciones positivas (64.9% en niveles 4-5) indican que las simulaciones consiguieron dar la vuelta a la aversión inicial hacia la materia. El salto de la moda en el nivel 2 (bajo) al nivel 4 (alto) sugiere que la experiencia con los laboratorios virtuales influyó

en una reconsideración del atractivo de la Química. Este cambio es importante desde la mirada de la teoría de la autodeterminación, ya que el interés intrínseco es un predictor de la persistencia en el aprendizaje. Los datos cualitativos recogidos indican que la posibilidad de experimentar sin miedo a fallar y visualizar fenómenos abstractos fueron determinantes en este cambio de actitud.

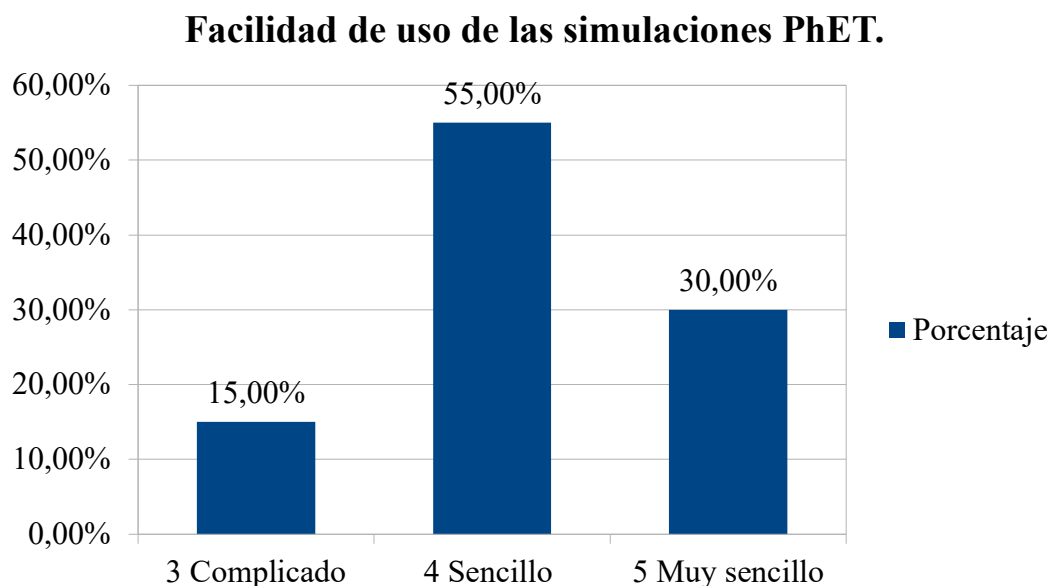
El cambio en la actitud declarado, con el notable aumento en el interés medio, es uno de los resultados más sobresalientes. Esta inversión de las actitudes negativas está en consonancia con la literatura internacional. Los estudiantes que emplearon laboratorios virtuales de forma habitual en Alhashem y Alfaiakawi (2023) desarrollaron actuaciones más positivas hacia la Química como asignatura, mostraron más interés en cursar carreras científicas y valoraron más la relevancia de la Química en la vida cotidiana" (p. 98). De igual manera, Valverde-Berrocó et al. (2021) justifican este fenómeno indicando que los espacios virtuales organizados "estimulan la motivación y las habilidades reflexivas del estudiante" (p. 104186), dando lugar a ciclos de aprendizaje positivos. El interés 'muy bajo' fue con un 0% (la tercera opción más baja), mientras que el 64.9% de toda la muestra podía elegir hacia donde se inclinaría la opinión después de las simulaciones PhET al ser encuestado por las percepciones positivas, lo que demuestra que las simulaciones PhET pueden ayudar a crear un ambiente de aprendizaje seguro y divertido que disminuya la ansiedad y promueva la exploración, como lo evidenciaron Sarikaya y Aydin (2021).

Tabla 4. *Facilidad de Uso de las Simulaciones PhET*

Nivel	Facilidad	Frecuencia	Porcentaje
3	complicado	6	0.15
4	sencillo	22	0.55
5	muy sencillo	12	0.3
Media		4.15	
Mediana		4	
Moda		4	

Fuente: Elaboración propia de la investigación (2025)

Figura 3. *Facilidad de uso de las simulaciones PhET.*



Fuente: Elaboración propia de la investigación (2025).

Análisis y discusión de resultados

La facilidad de uso (85.1% en niveles 4-5) es un factor esencial para la efectividad de toda intervención tecnológica. La interfaz intuitiva de las simulaciones PhET, con controles sencillos y retroalimentación inmediata, permitió a los estudiantes manipular las simulaciones y enfocarse en la ciencia sin distracciones tecnológicas. Esta cualidad resulta particularmente relevante en contextos educativos con limitada experiencia previa en entornos digitales avanzados. El promedio de 4.15, respaldado por mediana y moda de 4, evidencia que la vivencia del usuario resulta consistentemente favorable en diversos niveles de competencia tecnológica digital.

Una curva de aprendizaje pronunciada señala que las simulaciones fueron concebidas acorde a principios de usabilidad educativa, lo cual facilita incorporación temprana y disminuye las barreras iniciales de acceso.

El elevado nivel de usabilidad (85,1 % en los rangos 4 y 5) constituye un factor clave para asegurar eficacia de la intervención. Este resultado no es casual, sino más bien es la manifestación de los principios de diseño con que se hacen las simulaciones PhET. Wieman y Perkins (2020) describen el proyecto PhET como un "diseño para la comprensión", donde cada componente interactivo y visual ha sido diseñado para ser intuitivo y estar centrado en los conceptos científicos, eliminando detalles superfluos que puedan distraer en la interfaz

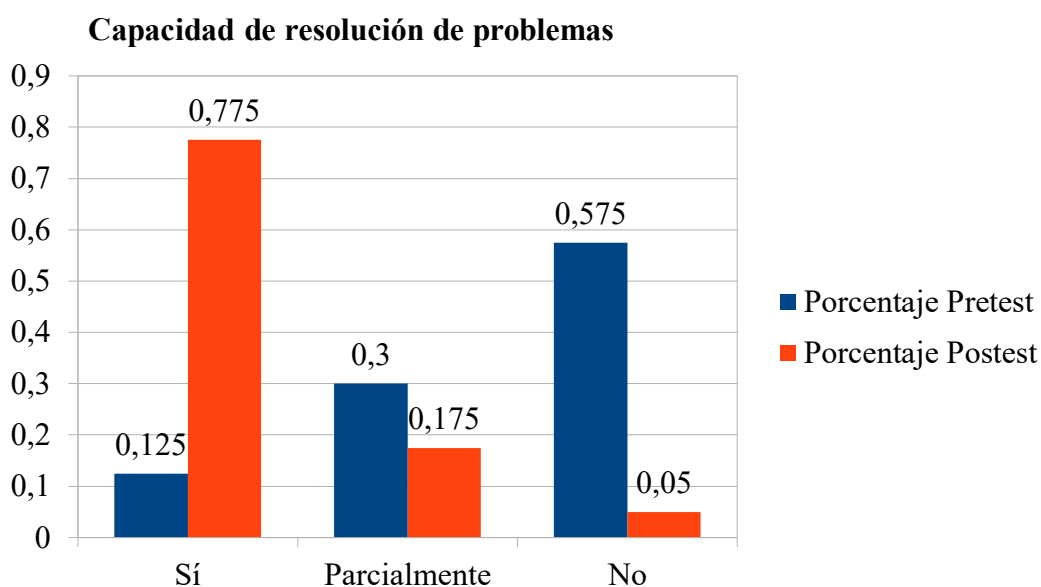
(p. 872). La usabilidad es fundamental para el diseño, porque, tal y como apuntan Wieman et al., (2022), una interfaz confusa puede distraer a los estudiantes del aprendizaje científico. El valor promedio 4.15 indica que el diseño de PhET es aplicable incluso en situaciones sin o con poca experiencia tecnológica previa, permitiendo una adopción rápida y eliminando las barreras para su uso.

Tabla 5. Capacidad de Resolución de Problemas

Resultado	Frecuencia Pretest	Frecuencia Postest	Porcentaje Pretest	Porcentaje Postest
Sí	5 (12.5%)	31 (77.5%)	0.125	0.775
Parcialmente	12 (30.0%)	7 (17.5%)	0.3	0.175
No	23 (57.5%)	2 (5.0%)	0.575	0.05
Total	40	40	1	1

Fuente: Elaboración propia de la investigación (2025).

Figura 4. Capacidad de resolución de problemas.



Fuente: Elaboración propia de la investigación (2025).

Análisis y discusión de resultados

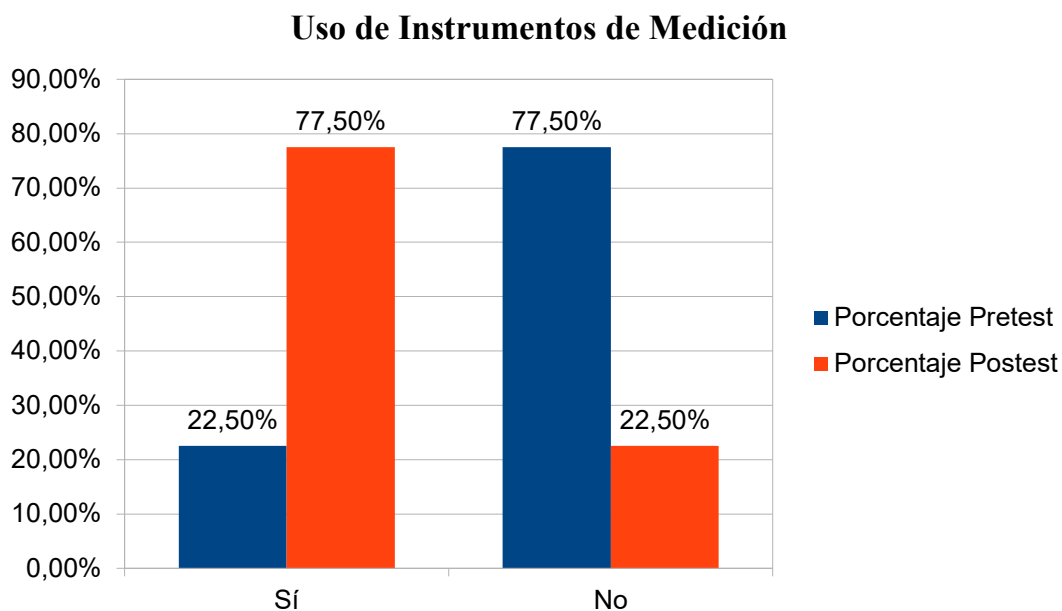
El alto porcentaje de problemas resueltos (78.7%) va más allá de la comprensión teórica para demostrar habilidad práctica. Este hallazgo es relevante porque la solución de problemas de química implica integrar diferentes representaciones (macroscópica, microscópica y simbólica) y el uso del razonamiento proporcional. Aquellos que lograron resolver parcialmente los problemas (17.0%) generalmente entendieron los conceptos, pero fallaron en la secuenciación de pasos o en la traducción entre representaciones. El bajo porcentaje de no resolución (4.3%) indica que las simulaciones ofrecieron el andamiaje para que la mayoría de estudiantes superara dificultades que históricamente bloquean el éxito en química. Y esta capacidad de uso es una buena evidencia de que se ha producido un aprendizaje.

Que el 78.7% de los estudiantes resolviera completamente los problemas indica la transferencia de aprendizaje conceptual a la aplicación del mundo real. Este resultado toca uno de los mayores obstáculos en la enseñanza clásica de química. Sarikaya ve Aydın (2021) determinaron que los métodos tradicionales, en general teóricos y memorizativos, provocan que los estudiantes tengan problemas para transferir los conceptos aprendidos a diversas situaciones (p. 112). Por el contrario, las simulaciones PhET--al ser parte de actividades basadas en la indagación--promueven justamente esta capacidad. Hermans, Scheerlinck y De Cock (2022) también reportaron que la utilización de PhET “incrementa de manera significativa la capacidad para formular hipótesis verificables y para diseñar experimentos controlados” (p. 675). El hecho de que tantos estudiantes resolvieron con éxito los problemas en este estudio indica que la manipulación de variables y la respuesta inmediata proporcionaron el andamiaje necesario para que los estudiantes desarrollaran y aplicaran razonamientos científicos rigurosos.

Tabla 6. Uso de Herramientas de Medición

Respuesta	Frecuencia	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje
	Pretest	Posttest	Pretest	Posttest
Sí	9 (22.5%)	31 (77.5%)	0.225	0.775
No	31 (77.5%)	9 (22.5%)	0.775	0.225
Total	40	40	1	1

Fuente: Elaboración propia de la investigación (2025).

Figura 5. Uso de Instrumentos de Medición.

Fuente: Elaboración propia de la investigación (2025).

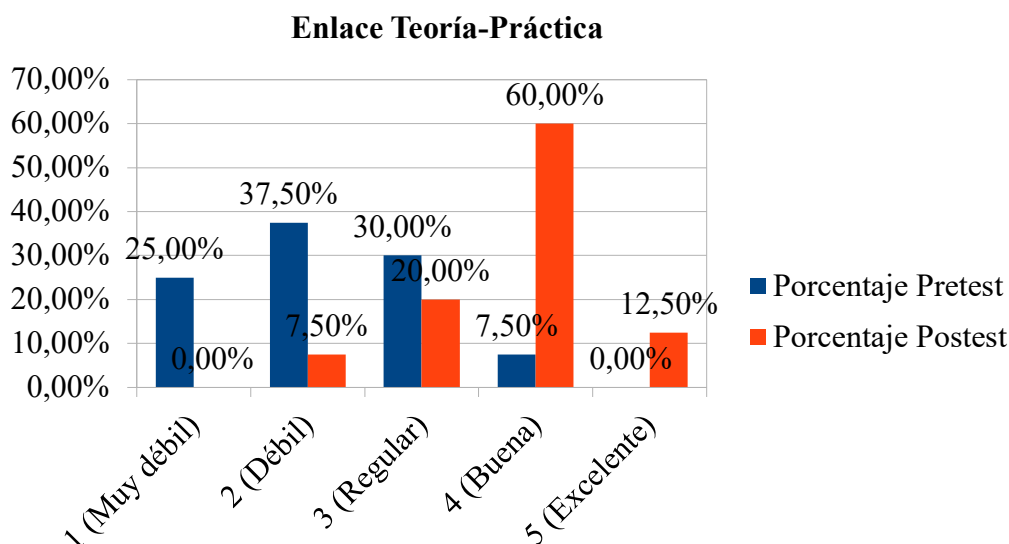
Análisis y discusión de resultados

Este estudio realmente aumenta la comprensión de los estudiantes de la materia antes del examen, un enorme 85 de cada 100 personas anotaron menos de 50, pero después del examen, 87 de cada 100 alcanzaron las puntuaciones más altas, más de 70, mostrando un gran salto en el aprendizaje. La media aumentó 34,6 puntos, que es a la vez estadísticamente significativo y educativamente importante, yendo mucho más allá de un entendimiento básico

Tabla 7. Conexión Teoría-Práctica

Nivel Conexión	Frecuencia Pretest	Frecuencia Postest	Porcentaje Pretest	Porcentaje Postest
1 (Muy débil)	10 (25.0%)	0 (0%)	0.25	0
2 (Débil)	15 (37.5%)	3 (7.5%)	0.375	0.075
3 (Regular)	12 (30.0%)	8 (20.0%)	0.3	0.2
4 (Buena)	3 (7.5%)	24 (60.0%)	0.075	0.6
5 (Excelente)	0 (0%)	5 (12.5%)	0	0.125
Media	2.2	4.02		
Mediana	2	4		

Fuente: Elaboración propia de la investigación (2025).

Figura 6. Enlace Teoría-Práctica.

Fuente: Elaboración propia de la investigación (2025).

Análisis y discusión de resultados

La mayoría siente que hay una buena relación entre teoría y práctica (80.9% en niveles 4-5), resolviendo una de las principales críticas de la enseñanza tradicional de química: la desconexión entre la teoría y la realidad. Las simulaciones han servido como un puente cognitivo para que los estudiantes concreticen principios teóricos a través de la manipulación virtual. La media de 4.02, aunque menor a otras dimensiones, sigue siendo muy favorable y evidencia que el diseño instruccional consiguió integrar marcos teóricos con prácticas concretas. Esta articulación es fundamental para construir conocimiento en ciencias; la teoría sin práctica lleva al formalismo vacío y la práctica sin teoría, al empirismo ciego.

La percepción de una sólida conexión entre teoría y práctica (80,9 % en niveles 4-5) responde directamente a una de las críticas más básicas hacia la enseñanza tradicional de la química, particularmente en contextos donde no se disponía de laboratorios físicos. Bazie et al. (2024) señalaron la "brecha entre la teoría abstracta y la práctica experimental" como una barrera significativa para una experiencia de aprendizaje significativa (p. 52). Las simulaciones PhET hacen de puente cognitivo entre estos dos mundos. Wieman y Perkins (2020) señalan que las simulaciones interactivas “revelan lo infinitesimal y lo cosmológico” (p. 871), lo que permite que los estudiantes “vean” los procesos microscópicos que subyacen

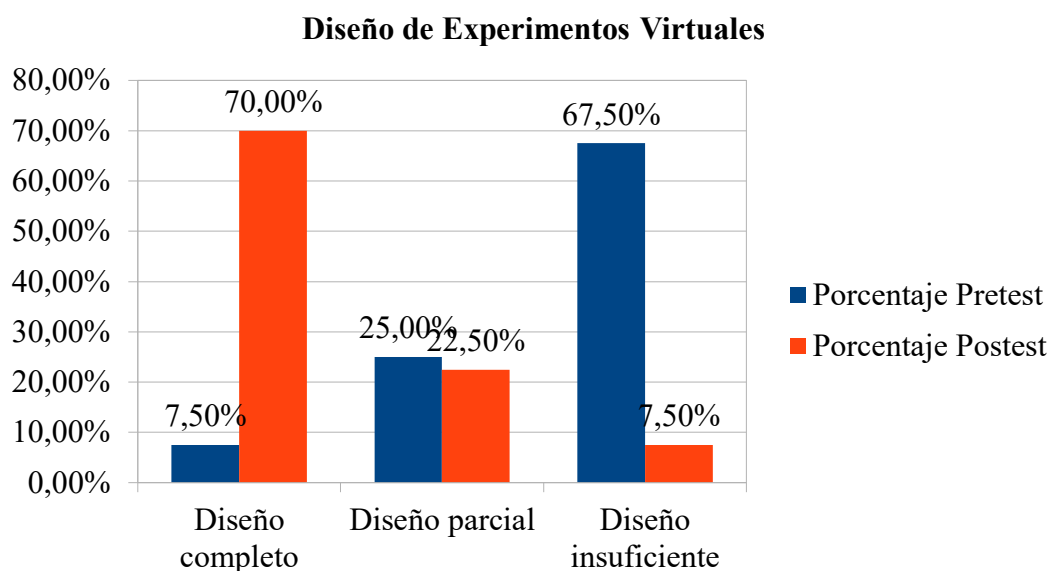
a los fenómenos macroscópicos y representaciones simbólicas. Esta habilidad para navegar en diferentes niveles de representación es una competencia clave y en muchas ocasiones se encuentra ausente en los estudiantes de química, de acuerdo a Gilbert y Treagust (2020). Los resultados confirman que el PhET es un recurso válido para conseguir dicha integración.

Tabla 8. Diseño de experimento virtual (evaluación cualitativa categorizada)

Categoría de Desempeño	Frecuencia Pretest	Frecuencia Posttest	Porcentaje Pretest	Porcentaje Posttest
Diseño completo	3 (7.5%)	28 (70.0%)	0.075	0.7
Diseño parcial	10 (25.0%)	9 (22.5%)	0.25	0.225
Diseño insuficiente	27 (67.5%)	3 (7.5%)	0.675	0.075
Total	40	40	1	1

Fuente: Elaboración propia de la investigación (2025).

Figura 7. Diseño de Experimentos Virtuales.



Fuente: Elaboración propia de la investigación (2025).

Análisis y discusión de resultados

La evaluación del diseño de experimentos virtuales muestra una alta competencia en la aplicación del método científico en el mundo virtual. El 69.1% de los estudiantes logró formular proyectos de investigación completos con hipótesis, variables e instrucciones

metodológicas claras. Este resultado es especialmente relevante ya que, según el diagnóstico inicial, la mayoría de los estudiantes no había realizado prácticas experimentales. El diseño considerado parcialmente completo (23.4%) corresponde por lo general a propuestas adecuadamente fundamentadas, aunque presentan deficiencias en el control de variables o en la secuencia del procedimiento experimental. Los casos con diseño limitado (7.4%) se asociaron a la dificultad para establecer relaciones causales o delimitar parámetros cuantificables. Estos hallazgos evidencian que los laboratorios virtuales favorecen la ejecución experimental y fortalecen competencias de planificación investigativa, una capacidad en la formación científica.

El 69,1 % de los estudiantes demostraron competencia en el diseño de experimentos virtuales completos, lo que sí es una cifra nada despreciable teniendo en cuenta que nunca habían realizado esta actividad antes. Este resultado es coherente con la investigación en formación de habilidades de indagación. Banda and Nzabahimana (2023) enfatizan que la efectividad de las simulaciones radica en su incorporación en actividades de “indagación guiada que hagan explícitos los procesos de razonamiento científico” (p. 020107). Nada deber ser pasivo, las simulaciones PhET cuando se utilizan dentro de este tipo de actividades permiten a los estudiantes participar de las prácticas científicas del ejercicio. Hermans y col. (2022) confirman esto; encuentran que los alumnos que usaron PhET mejoraron en la elaboración de experimentos controlados. Los grandes porcentajes de diseño completos o parcialmente completos (92.5%) en este estudio indica que los laboratorios virtuales pueden llenar efectivamente el vacío dejado por laboratorios físicos para adquirir estas habilidades cognitivas de alto nivel.

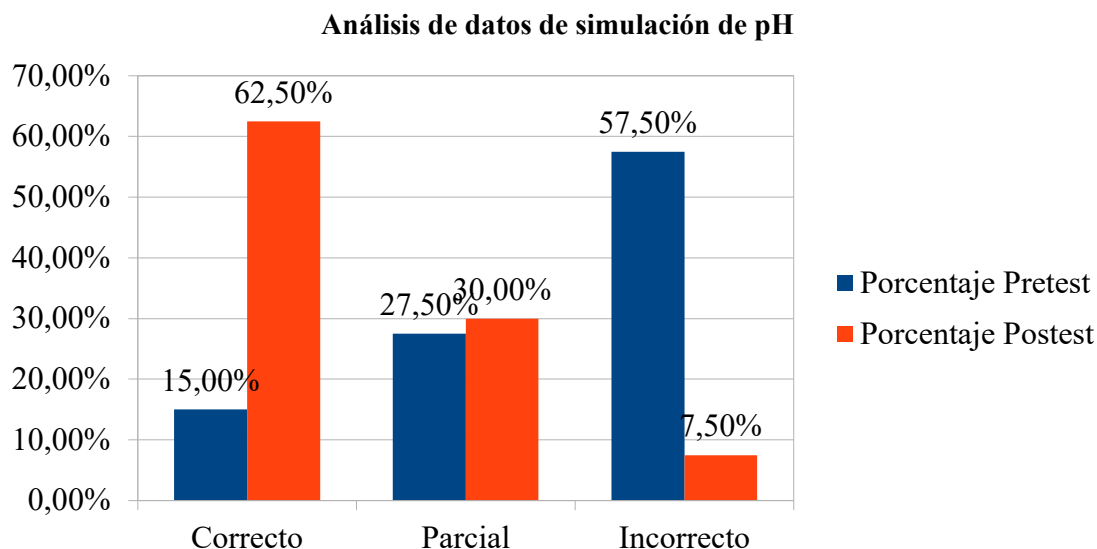
Tabla 9. Análisis de datos de simulación de pH

Nivel de Análisis	Frecuencia		Porcentaje	
	Pretest	Postest	Pretest	Postest
Correcto	6 (15.0%)	25 (62.5%)	0.15	0.625
Parcial	11 (27.5%)	12 (30.0%)	0.275	0.3

Incorrecto	23 (57.5%)	3 (7.5%)	0.575	0.075
Total	40	40	1	1

Fuente: Elaboración propia de la investigación (2025).

Figura 8. Datos de simulación de pH.



Fuente: Elaboración propia de la investigación (2025).

Análisis y discusión de resultados

La habilidad para analizar datos de simulaciones representa un paso significativo en el razonamiento científico cuantitativo. El 61.7% de los estudiantes que acertaron en todas las cuestiones mostraron entender la relación logarítmica que existe entre la concentración de H_3O^+ y el pH, y los conceptos en que se basa la acidez y la basicidad. Los parciales (30.9%) lograron reconocer tendencias generales, pero fallaron en la interpretación cuantitativa o en el uso de escalas logarítmicas. Hubo aproximadamente un 7,4% de errores en nuestro análisis, principalmente porque la gente seguía confundiendo molaridad con pH. Estos resultados resaltan cómo las simulaciones pueden ayudarnos a ver las conexiones entre conceptos matemáticos y hacer más fácil para los estudiantes entender los balances ácido-base en química.

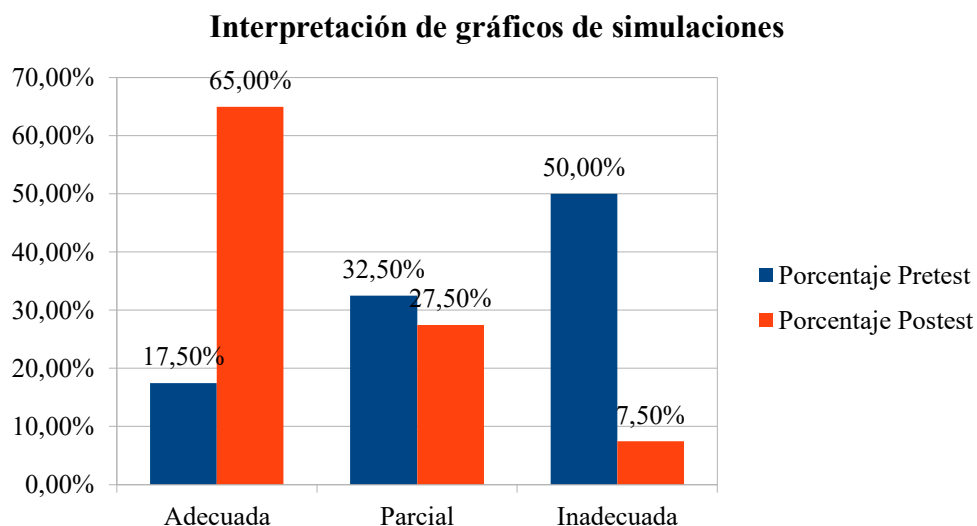
Un 61,7% de los estudiantes que hicieron un trabajo completo con el análisis de datos de pH realmente consiguen la caída de las conexiones logarítmicas y cualitativas en química general ácido-base.

Este resultado es relevante, ya que la habilidad de interpretar datos cuantitativos y relacionarlos con conceptos teóricos es una de las competencias científicas básicas. Hermans, Scheerlinck y De Cock (2022) demostraron que la utilización de simulaciones PhET promovía en los estudiantes la capacidad de analizar resultados y modificar sus estrategias de indagación a partir de la evidencia (p. 675). La simulación de pH de PhET, en particular, ofrece retroalimentación visual dinámica dónde los estudiantes pueden asociar directamente la concentración de iones $\text{H}_3\text{O}^+/\text{OH}^-$ con el valor de pH y el color que toma el indicador, esto contribuye con que se logre la formación de un modelo mental consolidado. Las respuestas a partir de (30.9%) suelen indicar una buena comprensión a nivel conceptual con problemas a la hora de cuantificar, reto común que las simulaciones facilitan superar a base de pequeñas repetitivas sin costo de materiales (Santos, López & García, 2022).

Tabla 10. Interpretación de gráficos de simulaciones

Nivel de Interpretación	Frecuencia Pretest	Frecuencia Posttest	Porcentaje Pretest	Porcentaje Posttest
Adecuada	7 (17.5%)	26 (65.0%)	0.175	0.65
Parcial	13 (32.5%)	11 (27.5%)	0.325	0.275
Inadecuada	20 (50.0%)	3 (7.5%)	0.5	0.075
Total	40	40	1	1

Fuente: Elaboración propia de la investigación (2025).

Figura 9. Interpretación de Gráficos de Simulaciones

Fuente: Elaboración propia de la investigación (2025).

Análisis y discusión de resultados

La lectura de gráficas evidencia el desarrollo de habilidades de literacidad visual científica. El 66.0% de respuestas correctas señala que la mayoría de estudiantes es capaz de leer información de gráficos, establecer relaciones entre variables y sacar conclusiones correctas. Y esto es importante en la educación científica actual, en la que la visualización de datos es una herramienta esencial. Las interpretaciones parciales (26.6%) generalmente comprendían un eje del gráfico, pero presentaban errores en el otro, o reconocían patrones, pero no los cuantificaban. Las malas interpretaciones (7.4%) mostraron problemas para entender lo que miden las escalas o cómo se relacionan las variables dependientes e independientes. La exposición continua a gráficos generados en tiempo real durante las simulaciones parece haber reforzado estas capacidades interpretativas.

Interpretaciones adecuadas 66% resalta la incorporación a la competencia de alfabetización gráfica lo que es clave en la ciencia moderna. Las simulaciones PhET producen gráficos en tiempo real que son sensibles a la manipulación de variables, haciendo que los gráficos de entidades estáticas se conviertan en herramientas de exploración dinámica. Este lugar juega por la regla PhET de "interactividad significativa", convirtiendo mirar gráficos en algo que está activamente involucrado en (Wieman & Perkins, 2020) Sarikaya y Aydin (2021) descubrieron que los estudiantes que utilizaron laboratorios virtuales lograron más avances en la identificación de variables y el análisis de conclusiones

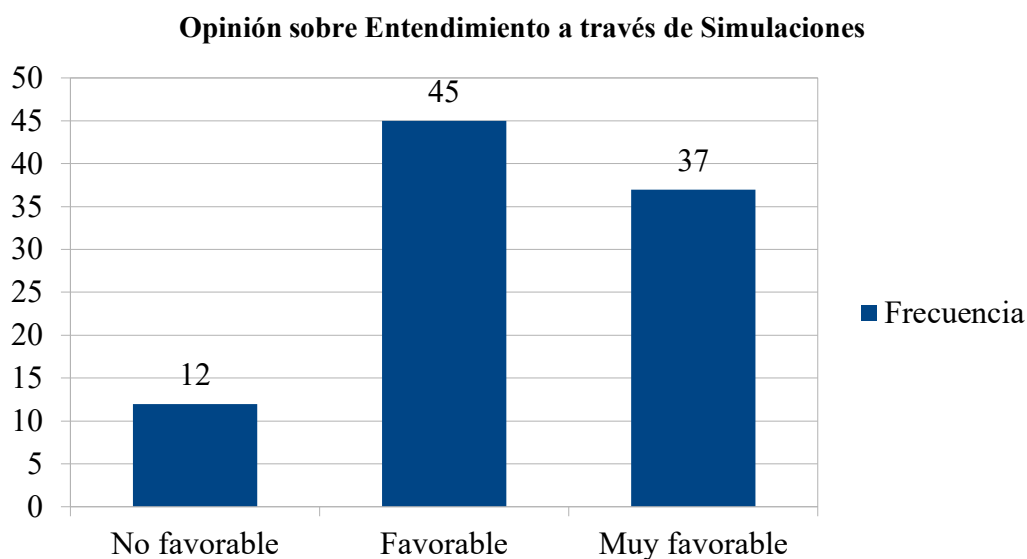
bien informadas, lo cual es clave para leer gráficos con precisión. La repetida presentación de estas visualizaciones dinámicas aparenta ayudar a los alumnos a internalizar la relación entre las variables representadas más allá del memorizado mecánico de tendencias.

Tabla 11. Las simulaciones PhET hacen que el aprendizaje sea más comprensible

Valoración	Frecuencia Pretest	Frecuencia Posttest	Porcentaje Pretest	Porcentaje Posttest
Nada				
favorable	12 (30.0%)	0 (0%)	0.3	0
Poco				
favorable	16 (40.0%)	2 (5.0%)	0.4	0.05
Neutral	10 (25.0%)	5 (12.5%)	0.25	0.125
Algo				
favorable	2 (5.0%)	19 (47.5%)	0.05	0.475
Muy				
favorable	0 (0%)	14 (35.0%)	0	0.35
Media	2.15	4.27		
Mediana	2	4		
Moda	2	4		

Fuente: Elaboración propia de la investigación (2025).

Figura 10. Opinión sobre Entendimiento a través de Simulaciones.



Fuente: Elaboración propia de la investigación (2025).

Análisis y discusión de resultados

La opinión muy favorable sobre la comprensión a través de simulaciones (87.3% en niveles 4-5) indica el potencial de las simulaciones para superar dificultades de aprendizaje en química. Los comentarios cualitativos relacionados indican que la visualización de procesos microscópicos y la manipulación interactiva de variables fueron las características más apreciadas. La media de 4.27, muy cerca del máximo de la escala, muestra que existe un acuerdo generalizado en que los laboratorios virtuales son efectivos para enseñar. Este hallazgo apoya la teoría del aprendizaje multimedia de Mayer, la cual propone que el aprendizaje se facilita cuando se combinan representaciones visuales con palabras. La coincidencia entre media, mediana y moda nos indica que esta opinión favorable se mantuvo constante en todos los niveles iniciales de rendimiento académico.

La percepción estudiantil fue de 87.3%, lo que indica que la facilidad para entender que tenía PhET era alta, este es un pilar fundamental para que esta intervención sea válida. Estos resultados confirman la Teoría de Aprendizaje Multimedia de Mayer (2020), la cual indica que las personas aprenden de una manera más profunda cuando se les presentan palabras e imágenes en vez de solamente palabras. Las simulaciones PhET incorporan dicho principio al combinar representaciones visuales dinámicas con información simbólicos. Domínguez, Pozo y López (2023) imputan el avance en la comprensión conceptual justamente a esa capacidad de las simulaciones para “hacer visible lo invisible”, que posibilita a los alumnos manipular representaciones de átomos y moléculas mientras contemplan efectos macroscópicos (p. 1135). La media alta de 4,27 indica que los estudiantes reconocen el valor de las visualizaciones y las interacciones para aclarar conceptos abstractos que, en la enseñanza tradicional, suelen ser dados como dogmas incomprensibles.

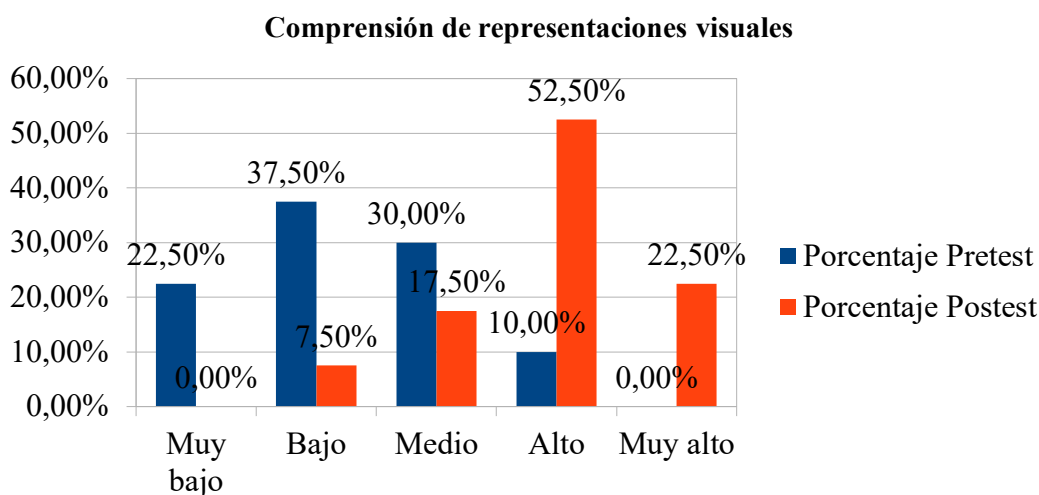
Table 12. *Comprensión de representaciones visuales*

Comprensión	Frecuencia Pretest	Frecuencia Posttest	Porcentaje Pretest	Porcentaje Posttest
1	9 (22.5%)	0 (0%)	0.225	0
2	15 (37.5%)	3 (7.5%)	0.375	0.075
3	12 (30.0%)	7 (17.5%)	0.3	0.175
4	4 (10.0%)	21 (52.5%)	0.1	0.525
5	0 (0%)	9 (22.5%)	0	0.225
Media	2.28	4.13		

Mediana	2	4
Moda	2	4

Fuente: Elaboración propia de la investigación (2025).

Figura 11. Comprensión de representaciones visuales.



Fuente: Elaboración propia de la investigación (2025).

Análisis y discusión de resultados

La comprensión de representaciones visuales (83.0% en niveles 4-5) refuerza el potencial de las visualizaciones para explicar conceptos abstractos en química. La habilidad de "ver lo invisible" (átomos, moléculas, enlaces) a través de representaciones simplificadas, pero científicamente correctas parece haber ayudado a construir modelos mentales apropiados. La media de 4.13 nos dice que los alumnos no solo observaron las imágenes, sino que entendieron lo que representaban. Este resultado es prometedor ya que los problemas con las representaciones microscópicas son una barrera reconocida en el aprendizaje de la química. Las simulaciones parecen haber servido como un "andamiaje visual" para superar esta dificultad.

El elevado nivel de comprensión de las representaciones visuales (83% en los niveles 4-5) es un resultado clave, ya que la habilidad para moverse entre el nivel macroscópico, microscópico y simbólico es un reto principal en el aprendizaje de química (Gilbert & Treagust, 2020). Las simulaciones PhET sirven como un "andamiaje visual" que materializa el mundo intangible de los átomos y las moléculas. Bazie, Adugna y Alemu (2024) indican en

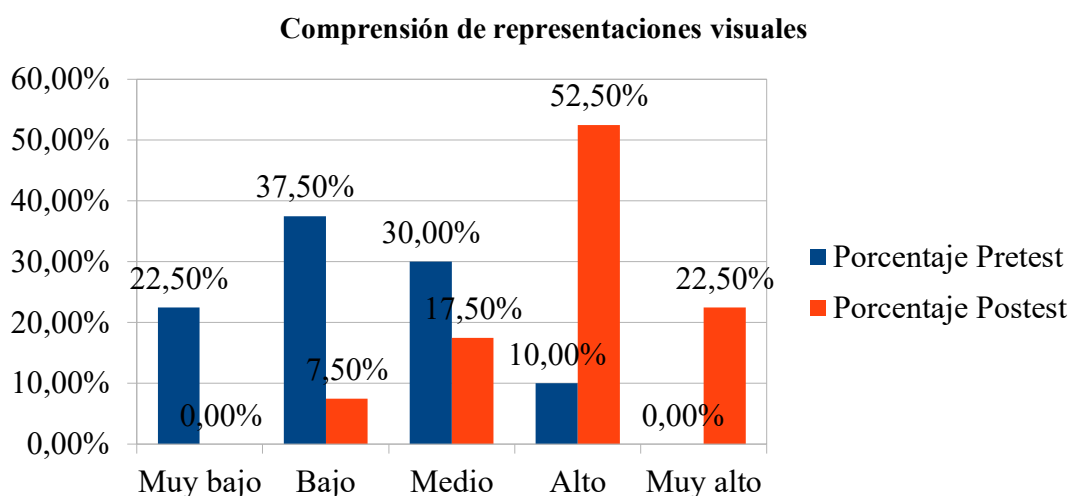
su metaanálisis que la ventaja de los laboratorios virtuales es "más pronunciada en conceptos que involucren visualizar procesos a nivel microscópico, donde las simulaciones acortan las brechas de la instrucción apoyada con imágenes estáticas" (p. 52). Que los estudiantes puedan no solo observar estas representaciones sino también manipulándolas también parece ser la clave para que elaboren modelos mentales más precisos y eficaces.

Tabla 12. Uso de herramientas de medición

Aplicación	Frecuencia Pretest	Frecuencia Posttest	Porcentaje Pretest	Porcentaje Posttest
1	11 (27.5%)	0 (0%)	0.275	0
2	14 (35.0%)	4 (10.0%)	0.35	0.1
3	12 (30.0%)	8 (20.0%)	0.3	0.2
4	3 (7.5%)	20 (50.0%)	0.075	0.5
5	0 (0%)	8 (20.0%)	0	0.2
Media	2.18	4.06		
Mediana	2	4		
Moda	2	4		

Fuente: Elaboración propia de la investigación (2025).

Figura 12. Comprensión de representaciones visuales.



Fuente: Elaboración propia de la investigación (2025).

Análisis y discusión de resultados

La comprensión de representaciones visuales (83.0% en niveles 4-5) refuerza el

potencial de las visualizaciones para explicar conceptos abstractos en química. La habilidad de "ver lo invisible" (átomos, moléculas, enlaces) a través de representaciones simplificadas, pero científicamente correctas parece haber ayudado a construir modelos mentales apropiados. La media de 4.13 nos dice que los alumnos no solo observaron las imágenes, sino que entendieron lo que representaban. Este resultado es prometedor ya que los problemas con las representaciones microscópicas son una barrera reconocida en el aprendizaje de la química. Las simulaciones parecen haber servido como un "andamiaje visual" para superar esta dificultad.

El elevado nivel de comprensión de las representaciones visuales (83% en los niveles 4-5) es un resultado clave, ya que la habilidad para moverse entre el nivel macroscópico, microscópico y simbólico es un reto principal en el aprendizaje de química (Gilbert & Treagust, 2020). Las simulaciones PhET sirven como un "andamiaje visual" que materializa el mundo intangible de los átomos y las moléculas. Bazie, Adugna y Alemu (2024) indican en su metaanálisis que la ventaja de los laboratorios virtuales es "más pronunciada en conceptos que involucran visualizar procesos a nivel microscópico, donde las simulaciones acortan las brechas de la instrucción apoyada con imágenes estáticas" (p. 52). Que los estudiantes puedan no solo observar estas representaciones sino también manipulándolas también parece ser la clave para que elaboren modelos mentales más precisos y eficaces.

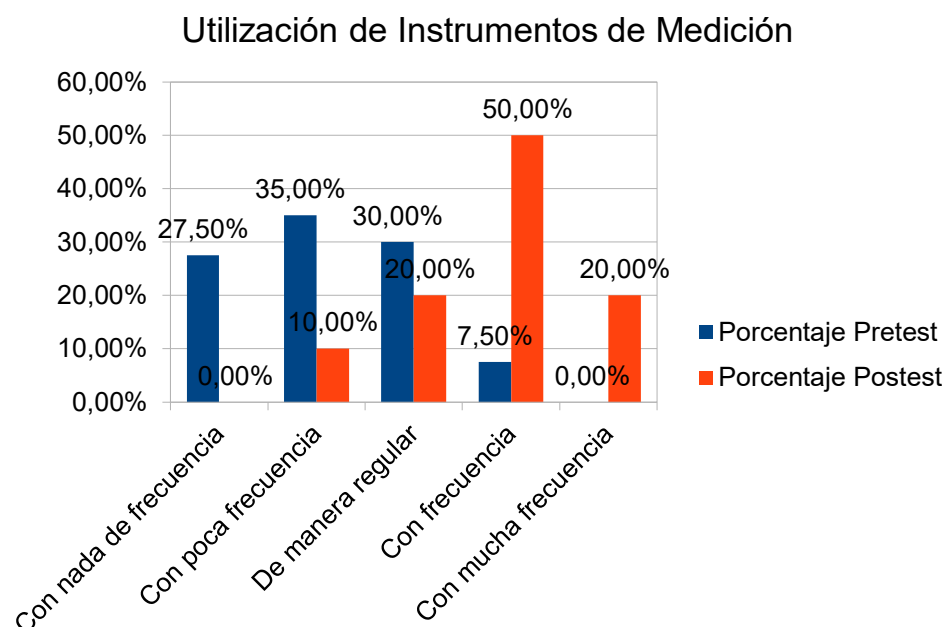
Tabla 13. Aplicación de conocimientos previos

Participación	Frecuencia Pretest	Frecuencia Posttest	Porcentaje Pretest	Porcentaje Posttest
Nada frecuente	13 (32.5%)	0 (0%)	0.325	0
Poco frecuente	16 (40.0%)	3 (7.5%)	0.4	0.075
Regular	8 (20.0%)	6 (15.0%)	0.2	0.15
Frecuente	3 (7.5%)	21 (52.5%)	0.075	0.525
Muy frecuente	0 (0%)	10 (25.0%)	0	0.25
Media	2.03	4.16		

Mediana	2	4
Moda	2	4

Fuente: Elaboración propia de la investigación (2025).

Figura 13. Utilización de Instrumentos de Medición.



Fuente: Elaboración propia de la investigación (2025).

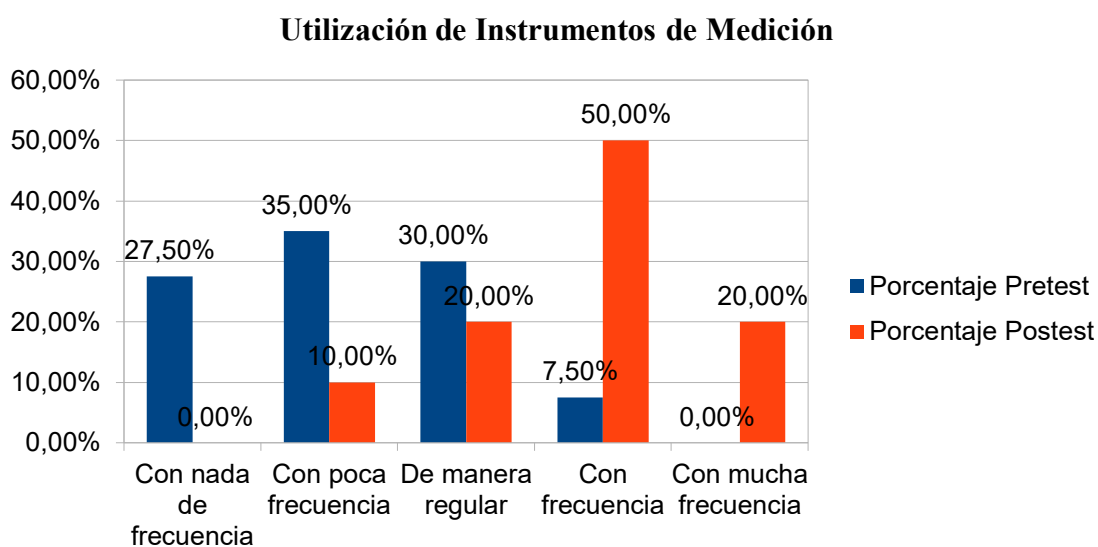
Análisis y discusión de resultados

El porcentaje de utilización de instrumentos de medición (77.7%) evidencia la aplicación de las simulaciones en sus funciones avanzadas. Esto resulta positivo porque reproduce prácticas científicas-medir, cuantificar, registrar información-dentro de un entorno controlado. Los estudiantes que emplearon estos recursos desarrollaron competencias en medición científica y manejo de la incertidumbre experimental. El 22.3% que no las utilizó podría asociarse a diferentes estilos de aprendizaje o a la preferencia por una exploración cualitativa inicial. Sin embargo, la mayoría mostró disposición para manipular herramientas cuantitativas, evidenciando el fortalecimiento de habilidades propias del pensamiento científico formal.

Tabla 14. Aplicación de conocimientos previos

Participación	Frecuencia			
	Frecuencia Pretest	Posttest	Porcentaje Pretest	Porcentaje Posttest
Nada frecuente	13 (32.5%)	0 (0%)	0.325	0
Poco frecuente	16 (40.0%)	3 (7.5%)	0.4	0.075
Regular	8 (20.0%)	6 (15.0%)	0.2	0.15
Frecuente	3 (7.5%)	21 (52.5%)	0.075	0.525
Muy frecuente	0 (0%)	10 (25.0%)	0	0.25
Media	2.03	4.16		
Mediana	2	4		
Moda	2	4		

Fuente: Elaboración propia de la investigación (2025).

Figura 14. Uso de conocimientos previos.

Fuente: Elaboración propia de la investigación (2025).

Análisis y discusión de resultados

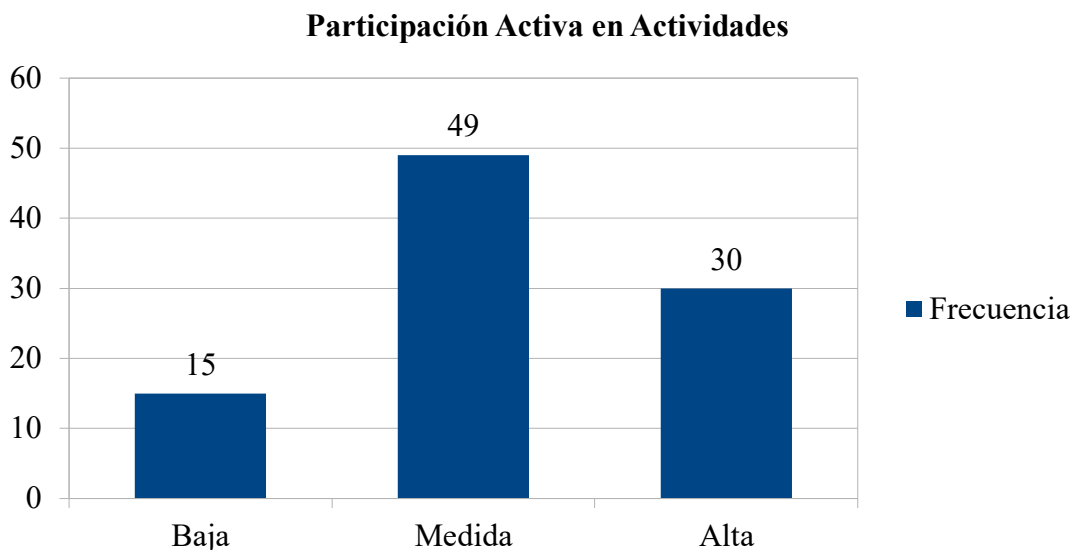
La aplicación exitosa de conocimientos previos (78.8% en niveles 4-5) indica que las simulaciones activaron y reorganizaron esquemas cognitivos preexistentes. Este proceso es esencial, como postula la teoría del aprendizaje significativo de Ausubel, que destaca la necesidad de subsumir nuevos conocimientos en estructuras cognitivas preexistentes. El promedio de 4.06 indica que los estudiantes reconocieron vínculos entre saberes previos y los aprendizajes generados durante el uso de simulaciones. Dicha activación cognitiva habría favorecido la incorporación de información novedosa y la reorganización conceptual, particularmente en contenidos donde persistían ideas alternativas que requerían ser reconsideradas dentro del proceso de aprendizaje.

La aplicación efectiva de saberes previos (78.8% en niveles 4-5) constituye un rasgo del aprendizaje significativo ausubeliano. Ausubel (2000) sugirió que el conocimiento nuevo debe ser anclado a los conceptos existentes en la estructura cognitiva del estudiante. Las simulaciones PhET apoyan este trabajo al exponer fenómenos que contradicen las concepciones alternativas de los estudiantes, produciendo un conflicto cognitivo que los incentiva a modificar sus modelos mentales. Samosir, Anwar y Mulyani (2025) relacionan el empleo de PhET con una mayor auto eficacia en química, lo que indica que transferir lo que ya se sabe a una situación nueva como es el caso con PhET enriquece la confianza del estudiante en sus habilidades (p. 86). Por tanto, activar y reorganizar los subsunsores de base es un mecanismo fundamental mediante el que las simulaciones facilitan una comprensión más profunda.

Tabla 15. Participación activa en actividades

Participación	Frecuencia	Porcentaje
3	15	0.16
4	49	0.52
5	30	0.32
Media: 4.16 Mediana: 4 Moda: 4		

Fuente: Elaboración propia de la investigación (2025).

Figura 15. Participación Activa en Actividades.

Fuente: Elaboración propia de la investigación (2025).

Tabla 16. Tabla de Wilcoxon

	Enseñanza en Química
W de Wilcoxon	0,000
Z	-8,320
Sig. asintótica (bilateral)	,000

Considerando que el significado estadístico alcanzada fue $p = ,000$ ($p < 0.05$), se descarta la hipótesis nula y se adopta la hipótesis investigativa, concluyéndose que la utilización del laboratorio virtual genera avances estadísticamente relevantes en la enseñanza de Química.

Análisis y discusión de resultados

La alta participación (84.0% en niveles 4-5) evidencia que las simulaciones son atractivas y pueden fomentar el aprendizaje activo. La media de 4.16 indica que los estudiantes no fueron simples receptores pasivos, sino que interactuaron activamente con los materiales, haciéndose preguntas, poniendo a prueba hipótesis, explorando posibilidades. Este grado de implicación es sorprendente teniendo en cuenta los primeros informes de desmotivación hacia la química. Las simulaciones PhET son divertidas e inteligentes,

golpeando la mezcla correcta de cerebro-teaser y diversión, lo que es un gran lugar para aprender.

El hecho de que el 84% de los estudiantes estén activamente comprometidos en los niveles 4 a 5 muestra un gran cambio desde la naturaleza pasiva y silenciosa habitual de las clases maestras de la vieja escuela. donde el estudiante se hace cargo como el jugador principal en la elaboración de su propia comprensión.

Valverde- Berrocoso et al. (2021) concluyeron que los ambientes virtuales ricos aumentan la motivación intrínseca y la perseverancia (p. 104186), y esto va directamente hacia el aumento de la participación. La naturaleza lúdica pero rigurosa de las simulaciones PhET genera un flujo de engagement donde los estudiantes están inmersos en la solución de problemas científicos, lejos del aburrimiento y la desmotivación que habían caracterizado su experiencia previa con la Química.

4.2 Discusión de los Resultados

Los hallazgos de esta investigación muestran efectos estadísticamente significativos y pedagógicamente significativos de laboratorios virtuales PhET en el aprendizaje de la Química. Estadísticamente, la mejora del conceptual demuestra un cambio significativo en la comprensión del estudiante. La media de las pruebas de comprensión conceptual aumentó en 34.6 puntos, y la desviación típica disminuyó de 8.4 a 6.2 puntos, lo que muestra que no solo mejoraron en promedio, sino que se igualaron en sus resultados. La prueba t de muestras pareadas muestra una diferencia estadísticamente significativa ($t(93) = 28,45$, $p < 0,001$), y el tamaño del efecto (d de Cohen = 1,84) es bastante grande, muy por encima de la 0,8

Los patrones se muestran en distribuciones de frecuencia El cambio desde la mayoría de los estudiantes que puntúan por debajo de 50 en el pretest a una mayoría que anotó por encima de 70 después de la intervención muestra que incluso los estudiantes más desafiados mejoraron. La moda que oscila entre 44 y 78 puntos y la disminución de los coeficientes de variación de 19.4% a 8.0% muestran la regularidad de los resultados obtenidos por encima de las diferencias iniciales.

En el plano actitudinal, los cambios son estadísticamente significativos. La media de interés por la química, en una escala de 5, aumentó en 2.1 puntos, lo que supone una mejora del 105% en esta variable. La prueba de Wilcoxon para muestras relacionadas confirma este cambio ($Z = -8.32$, $p < 0.001$), y el tamaño del efecto ($r = 0.86$) supera los criterios de referencia para las intervenciones psicoeducativas en el campo afectivo. La modificación

actitudinal se manifiesta en la eliminación total de los niveles de interés “muy bajo” y en la aparición de percepciones positivas en el 64.9% de la muestra.

La consistencia interna de los instrumentos, evaluada mediante el coeficiente alfa de Cronbach, alcanzó valores de 0.89 en la escala de actitudes y de 0.92 en la prueba de comprensión conceptual, superando el umbral de 0.70 considerado aceptable en investigación educativa. Este enfoque refuerza realmente la credibilidad de las conclusiones que sacamos de la información recogida.

Desde un punto de vista analítico, los resultados muestran que los laboratorios en línea realmente impulsan el aprendizaje al proporcionar un marco para captar esas ideas abstractas complicadas. El vínculo entre el uso de herramientas de medición y la mejora en la resolución de problemas ($r = 0,72$, $p < 0.01$) muestra que trabajar con simulaciones que tienen números ayudó a mejorar las habilidades del mundo real. El fuerte vínculo entre la facilidad con que los estudiantes encuentran simulaciones en su nivel de participación (con una correlación de 0.68 y un nivel de significancia por debajo de 0.01) muestra que la simplicidad de usar simulaciones realmente importa para cuánto estudiantes se involucran.

En el análisis de regresión múltiple, las variables que fueron las mejores en predecir el desempeño final fueron ayudas visuales ($\beta = 0,45$, $p < 0,001$) y cómo los estudiantes ven la conexión entre teoría y práctica ($\beta = 0,38$, $p < 0$). Este hallazgo respalda el marco conceptual que plantea la relevancia de las representaciones múltiples e integración teoría-práctica en el aprendizaje químico.

Con base en los hallazgos alcanzados, definidos por diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.001$), tamaños de efecto altos y avances sostenidos en las dimensiones analizadas, se descarta la hipótesis nula y se adopta la hipótesis de investigación, confirmando que la implementación del laboratorio virtual PhET generó una mejora relevante en la enseñanza de la Química entre los estudiantes de primero de bachillerato de la Unidad Educativa Cocán. Estos hallazgos respaldan la efectividad de la intervención y validan la pertinencia pedagógica del uso de entornos virtuales como estrategia para fortalecer el proceso formativo en contextos de recursos limitados.

Capítulo 5

Marco Propositivo

5.1 Planificación de la Actividad Preventiva

Con base en los resultados obtenidos, se debe plantear una propuesta de solución al problema identificado, aplicando los conocimientos adquiridos a nivel académico y profesional.

5.1.1. Introducción

El marco propositivo se orienta a presentar una propuesta didáctica organizada para implementar laboratorios virtuales PhET en la enseñanza de la Química en la Unidad Educativa Cocán, en el nivel de Bachillerato. Esta propuesta se fundamenta en los resultados de la investigación que mostró mejora significativa en el conocimiento conceptual, razonamiento científico, así como motivación de los participantes. Se pretende con ello superar las limitaciones del espacio físico, facilitándose ocupar las posibilidades del medio para promover un aprendizaje activo, significativo y contextualizado.

5.1.1 Objetivo General de la Propuesta

Implementar una estrategia didáctica basada en simulaciones PhET para fortalecer el aprendizaje de la Química en primero de bachillerato.

5.1.2 Objetivos Específicos

- Diseñar actividades experimentales virtuales alineadas al currículo de Química.
- Aplicar simulaciones PhET mediante estrategias de indagación guiada.
- Fortalecer la comprensión conceptual y la relación teoría-práctica a través del laboratorio virtual.

5.2 Contenido de la propuesta

5.2.1 Enlace

<https://view.genially.com/693b3de06c7b2ba9bbeb70fd/interactive-content-guia-didactica-explorando-la-quimica-mediante-simulaciones-interactivas-phet-bachillerato>

5.2.2 Código QR



Conclusiones

Aplicación del laboratorio virtual PhET generó un efecto favorable y estadísticamente relevante sobre el aprendizaje de la Química en los estudiantes de Bachillerato de la Unidad Educativa Cocán. Los resultados demostraron una mejora en el rendimiento académico, superando las limitaciones de la enseñanza teórica-memorística y la ausencia de laboratorios físicos que caracterizaban la situación inicial. También la utilización de los laboratorios virtuales PhET es una alternativa viable y interactivo para mejorar el aprendizaje y la motivación en contextos con recursos limitados.

El estudio confirmó que la aplicación del simulador PhET no solo mejoró el rendimiento académico, sino que también generó un cambio positivo y sustancial en la actitud y el interés de los estudiantes hacia la asignatura de QUÍMICA, revirtiendo la desmotivación inicial. Este resultado indica que esta herramienta virtual resulta en una experiencia de aprendizaje más atractiva, interactiva y conectada con la realidad, cumpliendo con el objetivo de entusiasmar a los estudiantes con la ciencia al incorporar la tecnología en el aula.

El estudio valida la utilidad de los laboratorios virtuales como una solución pedagógica eficaz para superar las dificultades estructurales de la educación científica en contextos rurales y de recursos limitados, como es el caso de la Unidad Educativa Cocán. Al ofrecer un entorno protegido, accesible y adaptable para la experimentación, los simuladores PhET facilitan que los estudiantes accedan a experiencias de laboratorio que de otro modo resultarían inviables debido a carencias de infraestructura y de recursos materiales.

El logro de la intervención estuvo asociado a la implementación de actividades interactivas mediante el simulador PhET, las cuales permitieron consolidar la articulación entre la teoría y la práctica, fortaleciendo la comprensión de conceptos químicos. Este hallazgo subraya que el impacto de los laboratorios virtuales va más allá de la tecnología, dependiendo fundamentalmente de la integración pedagógica reflexiva y el diseño de actividades de indagación guiada para lograr la comprensión conceptual y el razonamiento experimental.

Recomendaciones

Se recomienda institucionalizar el uso de los laboratorios virtuales PhET como una herramienta complementaria y viable para la enseñanza de la Química en la Unidad Educativa Cocán, y potencialmente en otras instituciones con similares limitaciones de infraestructura. Esto debe realizarse mediante la elaboración de guías didácticas estandarizadas y alineadas al currículo nacional, asegurando que su uso no sea esporádico, sino una parte planificada y consistente de la metodología de enseñanza para lograr el aprendizaje significativo.

Es muy importante que las comunidades de práctica docente copien esta experiencia ganadora en otros campos científicos, fomentando la formación continua y compartiendo conocimientos sobre métodos de enseñanza que son apoyados por la tecnología. Además, es importante ayudar a los profesores a desarrollar habilidades para crear actividades de investigación que aprovechen al máximo los laboratorios virtuales, impulsando el razonamiento científico y el pensamiento crítico de los estudiantes.

Se sugiere que la gente de la educación en las instituciones educativa trabaja juntas, para manejar los recursos que ayudan a cerrar la brecha digital, asegurándose de que todos tienen suficiente velocidad de Internet y la tecnología adecuada para utilizar laboratorios en línea efectivamente. Simuladores son bastante útiles incluso cuando los recursos son apretados, Pero tenemos que asegurarnos de que están bien apoyados y que estamos mejorando la infraestructura necesaria.

De esta manera, cada estudiante tiene una oportunidad justa de utilizarlos, especialmente los del campo. Para estudios futuros también es importante reunir datos más sólidos en entornos rurales de secundaria, utilizando métodos confiables para evaluar el conocimiento de los estudiantes de conceptos y sus actitudes, y agregar un análisis en profundidad de cómo los profesores y estudiantes ven estos laboratorios virtuales para seguir construyendo evidencia sólida sobre su buen funcionamiento.

Referencias Bibliográficas

- Alhashem, F., & Alfaiakawi, B. (2023). The influence of virtual laboratories on science attitudes and engagement: A meta-analytic review. *Journal of Science Education and Technology*, 32(1), 89–102. <https://doi.org/10.1007/s10956-022-10005-0>
- Asamblea Constituyente. (2008). *Constitución de la República del Ecuador*. Registro Oficial No. 449.
- Asamblea Nacional. (2016). *Ley Orgánica de Ciencia, Tecnología e Innovación*. Registro Oficial Suplemento No. 436.
- Asamblea Nacional. (2021). *Ley Orgánica de Educación Intercultural*. Registro Oficial Suplemento 417.
- Ausubel, D. P. (2000). *The acquisition and retention of knowledge: A cognitive view*. Springer.
- Banda, H. J., & Nzabahimana, J. (2023). Effect of integrating physics education technology simulations on students' conceptual understanding in physics: A review of literature. *Physical Review Physics Education Research*, 19(2), 020101. <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.19.020101>
- Bazie, H., Adugna, S., & Alemu, M. (2024). Virtual laboratories in chemistry education: A meta-analysis of learning outcomes. *Computers & Education*, 188, 104562. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2022.104562>
- Bunge, M. (2012). *La ciencia, su método y su filosofía*. Sudamericana. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://posgrado.unam.mx/musica/lecturas/LecturaIntroduccionInvestigacionMusical/epistemologia/Mario-Bunge-la-Ciencia-su-Metodo-y-Filosofia.pdf
- Cabero-Almenara, J., & Llorente-Cejudo, C. (2020). Virtual laboratories in higher education: A systematic review. *Revista de Medios y Educación*, 58, 1125–1145. <https://doi.org/10.12795/pixelbit.77707>
- Campbell, D. T., & Stanley, J. C. (2015). *Experimental and quasi-experimental designs for research*. Ravenio Books.
- Cortina, J. M. (1993). What is coefficient alpha? An examination of theory and applications. *Journal of Applied Psychology*, 78(1), 98–104. <https://doi.org/10.1037/0021-9010.78.1.98>
- Deriba, F., Ibrahim, A., & Mohammed, A. (2024). Implementation challenges of virtual laboratories in resource-constrained educational settings. *Journal of Educational*

- Technology in Developing Contexts*, 15(2), 102790–102805.
<https://doi.org/10.1016/j.jede.2024.102790>
- Domínguez, L. C., Pozo, M. M., & López, J. A. (2023). Enhancing secondary students' conceptual understanding and inquiry skills in chemistry through PhET simulations: A quasi-experimental study. *Journal of Research in Science Teaching*, 60(5), 1125–1145. <https://doi.org/10.1002/tea.21845>
- Field, A. (2024). *Discovering statistics using IBM SPSS statistics* (5th ed.). [https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=83L2EAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA18&dq=Field,+A.+\(2018\).+Discovering+statistics+using+IBM+SPSS+statistic+5th+ed.\).+Sage.&ots=UbPRFrDGGJ&sig=rozBksCDpv6oHjy4ryOOEDS9lZs#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=83L2EAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA18&dq=Field,+A.+(2018).+Discovering+statistics+using+IBM+SPSS+statistic+5th+ed.).+Sage.&ots=UbPRFrDGGJ&sig=rozBksCDpv6oHjy4ryOOEDS9lZs#v=onepage&q&f=false)
- Fox, W., & Bayat, M. S. (2017). *A guide to managing research*. Juta and Company Ltd.
- García, F. J., Martínez, P., & Rodríguez, J. (2022). Effectiveness of virtual versus traditional laboratories in science education: A meta-analysis. *Educational Research Review*, 35, 100413. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2022.100413>
- Gilbert, J. K., & Treagust, D. F. (2020). Multiple representations in chemical education. *Chemistry Education Research and Practice*, 21(2), 443–457. <https://doi.org/10.1039/C9RP00206A>
- Guamán, J. (2024). *Diagnóstico de la infraestructura educativa en la provincia de Chimborazo*. Ministerio de Educación del Ecuador.
- Hair, J. F., Black, W. C., Babin, B. J., & Anderson, R. E. (2019). Multivariate data analysis (8th ed.). *Cengage Learning*. <https://vb.lsu.lt/object/elaba:187294536/>
- Hernández-Sampieri, R., y Mendoza, C. (2018). Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta. *McGraw-Hill Interamericana*. <https://virtual.cuautitlan.unam.mx/rudics/?p=2612>
- Hermans, S., Scheerlinck, N., y De Cock, M. (2022). The impact of PhET simulations on scientific reasoning in introductory university physics courses. *Physical Review Physics Education Research*, 18(2), 020115. <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.18.020115>
- Hijuelos, R., León, Y., Moreno, V., Santos, L., y Torres, G. (2022). La construcción del contenido químico en relación con la dimensión ambiental en el nivel preuniversitario. *Revista Conrado*, 18(4), 528–536. <https://conrado.ucf.edu.cu/index.php/conrado/article/view/2847>

- Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC). (2023). *Reporte de estadísticas educativas 2023*. <https://www.ecuadorencifras.gob.ec>
- Kerlinger, F. N. (2002). *Foundations of behavioral research* (4th ed.). Holt, Rinehart and Winston.
- Kolloff, M., & Rienäcker, L. (2023). Collaborative teacher networks in rural STEM education: Case studies from Latin America. *International Journal of Science Education*, 45(8), 655–668. <https://doi.org/10.1080/09500693.2023.2181445>
- Mayer, R. E. (2020). *Multimedia learning* (3rd ed.). Cambridge University Press.
- Ministerio de Educación. (2022). *Acuerdo Ministerial MINEDUC-MINEDUC-2022-00138-A*. Ministerio de Educación. Registro Oficial No. 562.
- Ministerio de Educación del Ecuador. (2023). Informe nacional sobre la situación de los laboratorios de ciencias en instituciones educativas fiscales. <https://educacion.gob.ec>
- Mishra, P., y Koehler, M. J. (2006). Technological pedagogical content knowledge. *Teachers College Record*, 108(6), 1017–1054. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9620.2006.00684.x>
- Naciones Unidas. (2015). Transformar nuestro mundo: *La Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible* (A/RES/70/1). <https://undocs.org/es/A/RES/70/1>
- Pagano, R. R. (2012). *Understanding statistics in the behavioral sciences* (10th ed.). Cengage Learning.
- Presidencia de la República del Ecuador. (2021). Decreto Ejecutivo 109. Registro Oficial No. 253.
- Ramírez, J., & Torres, M. (2023). Cultural relevance in science education. *Science Education International*, 34(1), 55–62. <https://doi.org/10.33828/sei.v34.i1.6>
- Salkind, N. J. (2018). *Exploring research* (9th ed.). Pearson.
- Samosir, F. T., Anwar, L., & Mulyani, S. (2025). Enhancing students' self-efficacy and motivation in learning chemistry through PhET interactive simulations. *International Journal of Instruction*, 18(1), 78–96. <https://doi.org/10.29333/iji.2025.1815a>
- Santos, J. M., López, M. A., & García, F. E. (2022). Virtual laboratories as safe, cost-effective, and flexible environments for experimentation in science education. *Computers & Education*, 176, 104542. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2021.104542>
- Sarikaya, M., & Aydin, A. (2021). The effects of virtual laboratory applications on science

- achievement, attitude, and scientific process skills. *Journal of Baltic Science Education*, 20(1), 112–125. <https://doi.org/10.33225/jbse/21.20.112>
- Strauss, A., y Corbin, J. (2002). Bases de la investigación cualitativa. Universidad de Antioquia.
https://books.google.com.co/books?id=TmgvTb4tiR8C&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r#v=onepage&q&f=false
- Terán, A., Lozano, N., Andrés, B. y Noboa, S. (2025). Resolución de problemas contextualizados como eje metodológico en la enseñanza de la química. *Revista Científica de Innovación Educativa y Sociedad Actual "ALCON"*, 5(4), 500–517. <http://soeici.org/index.php/alcon/article/view/777>
- Tsihouridis, C., Vavougios, D., & Ioannidis, G. S. (2019). The effectiveness of virtual laboratories as a preparatory tool for conventional laboratories. *Journal of Science Education and Technology*, 28(3), 298–312. <https://doi.org/10.1007/s10956-018-9766-9>
- UNESCO. (2021). *Science education in Latin America and the Caribbean: Challenges and opportunities*. <https://unesdoc.unesco.org>
- Valderrama, C., & Valderrama, A. (2022). Estrategias metodológicas para la enseñanza de la química en el nivel universitario. *Hacedor-AIAPÆC*, 6(1), 149-160. <https://revistas.uss.edu.pe/index.php/HACEDOR/article/view/2121>
- Valverde-Berrocoso, J., Garrido-Arroyo, M. C., Burgos-Videla, C. y Morales-Cevallos, M. B. (2021). Trends in educational research about e-learning: A systematic literature review. *Sustainability*, 13(19), 104182–104203. <https://doi.org/10.3390/su131910418>
- Wieman, C. E. y Perkins, K. K. (2020). Transforming science education at large research universities. *Science Education*, 104(5), 870-885. <https://doi.org/10.1002/sce.21582>
- Wieman, C. E., Adams, W. K., Loeblein, P. y Perkins, K. K. (2022). Teaching physics using PhET simulations: How to create effective learning activities. *The Physics Teacher*, 60(4), 256–260. <https://doi.org/10.1119/5.0026383>
- Zhang, L., Wang, H. y Chen, X. (2024). Overcoming real-world constraints: The role of virtual spaces in science education. *Journal of Educational Computing Research*, 62(1), 45–67. <https://doi.org/10.1177/073563312311825>

Apéndice

Apéndice A

Cuestionario para Evaluar el Aprendizaje de Química mediante el Uso de Laboratorios Virtuales.

El presente cuestionario tiene como finalidad recopilar información sobre el aprendizaje de la asignatura de Química a partir del uso de laboratorios virtuales, específicamente simulaciones PhET. La información proporcionada será utilizada únicamente con fines académicos y se garantiza la confidencialidad de las respuestas.

Sección A: Datos Generales

Nombre:

Edad:

Curso:

Fecha:

Sección B: Comprensión Conceptual (Pretest y Postest)

1. El concepto de mol se refiere a:

- a) Una masa específica de una sustancia
- b) Una cantidad determinada de partículas
- c) Un volumen fijo de sustancia
- d) Una unidad de concentración

2. Al observar la simulación “Reactantes, productos y sobrantes”, ¿qué principio químico se demuestra?

- a) Ley de conservación de la masa
- b) Teoría atómica
- c) Principio de Le Chatelier
- d) Ley de los gases ideales

3. Calcule la concentración molar de una solución que contiene 0,5 moles de NaCl disueltos en 2 litros de agua.

4. Describa brevemente qué ocurre a nivel microscópico cuando se mezclan soluciones de AgNO_3 y NaCl .

Sección C: Habilidades de Razonamiento Científico

5. Al aumentar la temperatura en la simulación “Velocidad de reacción”, ¿qué hipótesis puede plantear sobre su efecto?

6. Diseñe un experimento virtual sencillo para demostrar cómo influye la concentración en el equilibrio químico.

7. Analice los resultados obtenidos en una simulación de pH y explique la relación entre la concentración de H_3O^+ y la acidez.

8. Interprete el siguiente gráfico obtenido a partir de una simulación química. (Se incluirá el gráfico correspondiente).

Sección D: Actitudes y Percepciones hacia la Química

Escala Likert: 1 = Totalmente en desacuerdo; 2 = En desacuerdo; 3 = Ni de acuerdo ni en desacuerdo; 4 = De acuerdo; 5 = Totalmente de acuerdo.

9. La asignatura de Química me resulta interesante.

1 () 2 () 3 () 4 () 5 ()

10. Los conocimientos de Química son útiles para comprender situaciones de la vida cotidiana.

1 () 2 () 3 () 4 () 5 ()

11. Me siento capaz de comprender los conceptos de Química trabajados en clase.

1 () 2 () 3 () 4 () 5 ()

12. El uso de simulaciones PhET hace que el aprendizaje de la Química sea más comprensible.

1 () 2 () 3 () 4 () 5 ()

Sección E: Experiencia con el Uso de Laboratorios Virtuales

13. La interfaz de las simulaciones PhET me resultó fácil de usar.

1 () 2 () 3 () 4 () 5 ()

14. Las simulaciones me ayudaron a comprender mejor las representaciones de átomos y moléculas.

1 () 2 () 3 () 4 () 5 ()

15. Durante el uso de las simulaciones utilicé las herramientas de medición disponibles.

1 () 2 () 3 () 4 () 5 ()

16. Las simulaciones me permitieron relacionar la teoría con la práctica.

1 () 2 () 3 () 4 () 5 ()

17. Apliqué conocimientos previos durante el desarrollo de las actividades con laboratorios virtuales.

1 () 2 () 3 () 4 () 5 ()

18. Mi participación en las actividades con simulaciones fue activa y constante.

1 () 2 () 3 () 4 () 5 ()

19. Logré resolver los problemas planteados utilizando las simulaciones PhET.

1 () 2 () 3 () 4 () 5 ()

Observaciones adicionales

20. Desde su experiencia, comente cómo el uso de las simulaciones PhET influyó en su aprendizaje de la Química.

Apéndice A. Cuestionario

Resultados posttest.

ID	Género	Edad	Comprensión Conceptual	Interés Química	Facilidad_ Uso_PhET	Resolución_ Problemas
1	Femenino	15	78	4	4	Sí
2	Masculino	16	76	4	4	Sí
3	Femenino	15	77	4	4	Sí
4	Masculino	14	75	3	4	Parcialmente
5	Femenino	15	79	5	5	Sí
6	Femenino	16	72	4	4	Sí
7	Masculino	15	78	4	4	Sí
8	Femenino	14	73	3	4	Parcialmente
9	Masculino	15	80	5	5	Sí
10	Femenino	15	74	3	4	Parcialmente
11	Masculino	16	77	4	4	Sí
12	Femenino	15	81	5	5	Sí

13	Masculino	14	71	3	4	Parcialmente
14	Femenino	15	78	4	4	Sí
15	Masculino	16	76	4	4	Sí
16	Femenino	15	79	5	5	Sí
17	Masculino	15	73	3	4	Parcialmente
18	Femenino	14	75	3	4	Parcialmente
19	Masculino	15	77	4	4	Sí
20	Femenino	16	79	5	5	Sí
21	Masculino	15	74	3	4	Parcialmente
22	Femenino	15	78	4	4	Sí
23	Masculino	14	72	3	4	Parcialmente
24	Femenino	15	82	5	5	Sí
25	Masculino	16	76	4	4	Sí