ISSN 2477-9105
Número 35 Vol.1 (2026)
DOI: https://doi.org/10.47187/perf.v1i35.365
Fecha de recepción: 13-07-2025 / **Fecha de aceptación:** 04-09-2025 / **Fecha de Publicación:** 12-12-2025

PhET Y LABORATORIOS TRADICIONALES: UN ENFOQUE HÍBRIDO PARA LA ENSEÑANZA DE SOLUCIONES QUÍMICAS

Phet and traditional laboratories: a hybrid approach to teaching chemical solutions

[1] Gabriela Campos Mera
[2] Santiago Torres Barahona

[1] Universidad de Granada, Facultad de Ciencias de la Educación, Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales, Educación para la Sostenibilidad, Granada, España.
[2] Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Mecánica, Grupo de Investigación en Materiales Avanzados, Riobamba, Ecuador.

*gabcampos@correo.ugr.es

RESUMEN

Los simuladores y laboratorios virtuales se han convertido en herramientas pedagógicas eficaces para la enseñanza de conceptos científicos complejos. Este estudio investigó la efectividad de integrar el laboratorio virtual PhET con métodos de laboratorio tradicionales para enseñar de manera práctica la temática concentración de soluciones químicas. Mediante un diseño cuasiexperimental con 92 estudiantes de segundo año de bachillerato, se compararon dos grupos: uno con instrucción híbrida (n=46) y otro con métodos tradicionales (n=46). Los análisis estadísticos mostraron diferencias significativas entre grupos en el post-test (p<0,001), con un tamaño del efecto grande (d de Cohen = 1,384). El grupo experimental obtuvo una media de 8,45/10 frente a 6,82/10 del grupo control. La evaluación por dimensiones reveló mejores resultados en la comprensión conceptual, cálculos y aplicación práctica en el grupo experimental. En conclusión, la integración de laboratorios virtuales y tradicionales potencia el aprendizaje y favorece la comprensión profunda de los conceptos de soluciones químicas.

Palabras claves: *Química, Laboratorio, Simulación, Concentración de disoluciones, Aprendizaje.*

ABSTRACT

Simulators and virtual laboratories have become effective teaching tools for complex scientific concepts. This study investigated the effectiveness of integrating the PhET virtual laboratory with traditional laboratory methods to teach the topic of chemical solution concentration in a practical way. Using a quasi-experimental design with 92 high school sophomores, two groups were compared: one with hybrid instruction (n=46) and another with traditional methods (n=46). Statistical analyses showed significant differences between groups in the post-test (p<0,001), with a large effect size (Cohen's d= 1,384). The experimental group obtained an average of 8,45/10 compared to 6,82/10 for the control group. The evaluation by dimensions revealed better results in conceptual understanding, calculations, and practical application in the experimental group. In conclusion, the integration of virtual and traditional laboratories enhances learning and promotes a deep understanding of the concepts of chemical solutions.

Keywords: *Chemistry, Laboratory, Simulation, Concentration of solutions, Learning.*

I. INTRODUCCIÓN

La enseñanza de la Química, particularmente el tema de concentración de soluciones, representa un desafío significativo en la educación secundaria debido a la dificultad que experimentan los estudiantes para relacionar los conceptos teóricos con las aplicaciones prácticas. Esta problemática se fundamenta en las concepciones erróneas que poseen los estudiantes sobre la naturaleza intensiva de la concentración, así como en las confusiones frecuentes entre el volumen de disolvente y el volumen de solución, lo cual genera errores sistemáticos en la resolución de problemas de mezcla y dilución (1).

En la actualidad, la integración de tecnologías digitales en la educación, en específico los laboratorios virtuales, se ha popularizado, convirtiéndo se en herramientas prometedoras que favorecen la comprensión de conceptos químicos abstractos y su aplicación en situaciones reales (2-4). Los laboratorios virtuales son herramientas versátiles que destacan por su accesibilidad, bajo costo y capacidad de mostrar fenómenos difíciles de observar en un laboratorio físico, además de ofrecer una experiencia de aprendizaje más segura que se ajusta a consideraciones éticas y legales (5). Estas herramientas ofrecen la ventaja de potenciar tanto el rendimiento conceptual como las habilidades de indagación (6), además de favorecer el desarrollo de competencias cognitivas y psicomotoras en los estudiantes (7).

Una revisión sistemática reciente ubica a PhET (Physics Education Technology) como el simulador y laboratorio virtual más utilizado a nivel mundial (8). PhET, desarrollado por la Universidad de Colorado ha demostrado ser particularmente efectivo en la enseñanza de ciencias (9-15). Sus simulaciones interactivas permiten a los estudiantes explorar fenómenos científicos complejos de manera dinámica y participativa (16). En el caso específico de la concentración de soluciones, la simulación "Concentración" de PhET ofrece un abordaje integral que permite visualizar de manera clara la relación entre el volumen y la cantidad de soluto. La herramienta muestra cómo el color está relacionado directamente con la concentración, además facilita la predicción de cambios al añadir o retirar agua o soluto, y brinda la posibilidad de diseñar diferentes procedimientos para preparar o modificar soluciones químicas. Asimismo, resulta útil para identificar soluciones saturadas y anticipar cómo variará la concentración frente a diferentes acciones. De esta forma, proporciona una representación visual precisa de cómo los cambios en la cantidad de soluto y solvente influyen en la concentración final, en la tonalidad de la solución y en su estado de saturación. Cabe señalar, sin embargo, que la simulación no incluye animaciones a nivel atómico-molecular.

Sin embargo, el uso exclusivo de laboratorios virtuales puede no constituir la solución óptima. Una revisión sistemática de la literatura indica que la combinación de laboratorios virtuales con métodos tradicionales produce mejores resultados de aprendizaje que el uso de cualquiera de estos enfoques por separado (17). Esta aproximación híbrida permite a los estudiantes beneficiarse tanto de la visualización dinámica y la experimentación sin riesgos que ofrecen las simulaciones, como de la experiencia práctica y el desarrollo de habilidades manipulativas que proporcionan los laboratorios tradicionales.

En este contexto, Supahar y Widodo (18) sostienen que, para optimizar el trabajo en laboratorios reales, el desarrollo de las prácticas científicas reales debe respaldarse con modelos de laboratorio virtuales. Esta afirmación se ve reforzada por diversos estudios empíricos. Por ejemplo, Lestari y Supahar (19) encontraron que los estudiantes requieren un laboratorio virtual como medio de aprendizaje complementario que respalde las prácticas científicas desarrolladas en el laboratorio real. Asimismo, Lestari et al. (20) reportaron que la combinación de un laboratorio virtual con métodos de demostración constituyó el medio más eficaz para mejorar las capacidades de alfabetización científica. A pesar de la creciente evidencia sobre los beneficios de los laboratorios virtuales en la enseñanza de las ciencias, existe una brecha en la investigación sobre la efectividad específica de laboratorios virtuales como PhET integrados con métodos de laboratorio tradicionales para la enseñanza práctica de la temática: concentración de soluciones químicas. Liu et al. (21) señalan que la mayoría de los estudios se han centrado en el uso exclusivo de laboratorios virtuales o tradicionales, pero pocos han explorado sistemáticamente los beneficios de su integración.

La presente investigación busca aportar evidencia empírica sobre el impacto de integrar el laboratorio virtual PhET en conjunto con la metodología de laboratorios tradicionales en

la comprensión del concepto de concentración de soluciones químicas. Este estudio es particularmente relevante considerando que las dificultades en la comprensión de estos conceptos fundamentales pueden afectar el aprendizaje posterior de temas más avanzados en Química (22).

II. MATERIALES Y MÉTODOS

Se implementó un diseño cuasiexperimental con pre-test-post-test y grupo control. La selección de este diseño responde a la imposibilidad de asignar aleatoriamente los participantes a los grupos, ya que se trabajó con grupos escolares preestablecidos (23).

La muestra estuvo compuesta por 92 estudiantes de segundo año de bachillerato de una institución educativa pública, divididos en dos grupos. El grupo experimental (n=46) recibió instrucción combinando el laboratorio virtual PhET con dos prácticas en laboratorios tradicionales (estrategia híbrida). El grupo control (n=46) recibió instrucción utilizando únicamente métodos tradicionales que incluyeron clases teóricas y dos prácticas en un laboratorio real. Tanto en el grupo experimental como en el grupo de control, las prácticas en laboratorios reales convencionales se llevaron a cabo en las mismas instalaciones y estuvieron enfocadas en la preparación de soluciones con distintas concentraciones, utilizando balanzas, matraces aforados, pipetas y vasos de precipitados. El simulador PhET no reemplazó las prácticas de laboratorio tradicional en el grupo experimental, más bien se usó de forma complementaria y previa para la exploración conceptual.

Los participantes, con edades comprendidas entre 15 y 16 años, no presentaban diferencias significativas en cuanto a rendimiento académico previo en la asignatura de Química ($p>0,05$).

Para la recolección de datos se utilizó un pre-test y post-test consistente en un cuestionario de 20 ítems de opción múltiple que evalúan la comprensión conceptual de concentración de soluciones Químicas, los ítems del cuestionario se muestran en la Tabla 1, junto a las dimensiones analizadas. El instrumento fue validado por cinco docentes en ejercicio, expertos en didáctica de la Química (todos con título de postgrado en Didácticas de las Ciencias Experimentales, mención Química y Biología) y mostró un coeficiente de confiabilidad de Kuder-Richardson de 0,85. En el instrumento, cada ítem de opción múltiple tiene un valor de 0,5 puntos, dando como resultado una nota máxima de 10 puntos. Una respuesta correcta suma 0,5 puntos, mientras que una incorrecta no resta puntos. El puntaje total por dimensión se calculó sumando los puntos de los ítems correspondientes.

Nº	Ítem	Opciones	Dimensión
1	¿Qué es una solución en química?	a) Una mezcla heterogénea. b) Una sustancia pura. c) Una mezcla homogénea de soluto y solvente. d) Una reacción química.	Comprensión conceptual
2	El soluto en una solución es:	a) La sustancia en mayor proporción. b) La sustancia que se disuelve. c) Siempre es agua. d) El componente que da el color.	Comprensión conceptual
3	El solvente se define como:	a) La sustancia que se disuelve. b) El componente en menor proporción. c) La sustancia en mayor proporción que disuelve al soluto. d) El componente sólido.	Comprensión conceptual
4	La concentración de una solución indica:	a) La temperatura de la mezcla. b) La cantidad de soluto disuelto en una cantidad de solvente. c) El volumen del recipiente. d) La presión del sistema.	Comprensión conceptual
5	Al añadir más solvente a una solución sin variar el soluto, la concentración:	a) Aumenta. b) Disminuye. c) Permanece igual. d) Depende del soluto.	Comprensión conceptual
6	Una solución saturada se caracteriza por:	a) Contener menos soluto del que puede disolverse. b) Disolver todo el soluto. c) No poder disolver más soluto a una temperatura dada. d) No contener solvente.	Comprensión conceptual
7	Una solución insaturada se caracteriza por:	a) Poder disolver más soluto. b) No contener solvente. c) Estar al límite de disolución. d) Tener más soluto que solvente.	Comprensión conceptual
8	Una solución sobresaturada es aquella que:	a) No contiene soluto. b) Contiene más soluto del que puede mantenerse disuelto a esa temperatura. c) Es siempre gaseosa. d) Tiene baja concentración.	Comprensión conceptual
9	Una solución de 2 moles de NaCl en 1 L de agua tiene una molaridad de:	a) 0,5 M b) 1 M c) 2 M d) 4 M	Cálculo de concentración

10	Si se preparan 500 mL de solución con 0,25 moles de soluto, la concentración es:	a) 0,25 M b) 0,5 M c) 1 M d) 2 M	Cálculo de concentración
11	Una solución 1 M se diluye al doble de volumen. La nueva concentración será:	a) 0,25 M b) 0,5 M c) 1 M d) 2 M	Cálculo de concentración
12	Para preparar 250 mL de NaOH 0,2 M, se requieren (M=40 g/mol):	a) 1 g b) 2 g c) 3 g d) 5 g	Cálculo de concentración
13	¿Qué volumen de una solución 2 M se necesita para preparar 100 mL de solución 0,5 M?	a) 10 mL b) 20 mL c) 25 mL d) 50 mL	Cálculo de concentración
14	Disolver 0,1 mol de KCl en 200 mL de agua da una concentración de:	a) 0,1 M b) 0,2 M c) 0,3 M d) 0,5 M	Cálculo de concentración
15	En el laboratorio, para preparar una solución diluida a partir de una concentrada se debe:	a) Añadir solvente. b) Añadir soluto. c) Aumentar la temperatura. d) Cambiar el recipiente.	Aplicación práctica
16	Si se mezcla una solución concentrada con agua, el resultado será una solución:	a) Saturada. b) Más diluida. c) Más concentrada. d) Sobresaturada.	Aplicación práctica
17	Al preparar soluciones ácidas, la norma de seguridad indica:	a) Agregar agua sobre el ácido. b) Agregar ácido sobre el agua. c) Mezclar sin orden. d) Primero calentar el agua.	Aplicación práctica
18	Una solución concentrada se diferencia de una diluida porque:	a) Contiene más solvente. b) Tiene mayor cantidad de soluto en la misma cantidad de solvente. c) Siempre es más viscosa. d) Tiene color más oscuro.	Aplicación práctica
19	En una práctica, un estudiante añade soluto y este ya no se disuelve. La solución es:	a) Insaturada. b) Saturada. c) Diluida. d) Concentrada.	Aplicación práctica
20	Para aumentar la concentración de una solución sin variar el volumen, se debe:	a) Retirar solvente. b) Añadir más soluto. c) Cambiar el recipiente. d) Calentar la solución.	Aplicación práctica

Tabla 1. *Ítems del cuestionario por dimensiones.*

La estrategia utilizada con el grupo experimental para el uso del laboratorio virtual PhET fue la de indagación guiada, basada en el Aprendizaje por Indagación. En esta estrategia los estudiantes manipulan la simulación directamente con la ayuda de una "hoja de trabajo" con indicaciones, retos y preguntas, donde irán reportando sus resultados (24). Para ello se utilizó una hoja de trabajo diseñada por los autores y publicada en el sitio web de PhET, misma que se encuentra disponible en el siguiente enlace: https://phet.colorado.edu/es/activities/7805

La hoja de trabajo diseñada se concibió como un recurso pedagógico flexible cuyo propósito principal fue favorecer que los estudiantes descubrieran relaciones conceptuales y experimentaran de manera autónoma y colaborativa con la simulación, evitando el formato de "receta de laboratorio". En lugar de ofrecer instrucciones cerradas, la guía plantea problemas contextualizados, retos, preguntas abiertas e incluye espacios de reflexión que promuevan la exploración activa, el debate y la construcción de conclusiones fundamentadas.

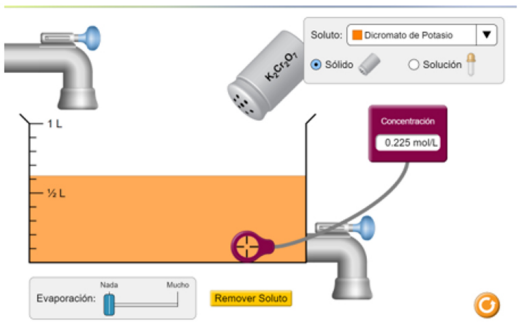
Su estructura se organizó en cinco secciones principales. En el "pre-laboratorio", los estudiantes analizan mezclas cotidianas (agua con sal, café, arena, limón, aceite) y reflexionan sobre las diferencias entre disoluciones y mezclas heterogéneas, introduciendo así los conceptos de solución, soluto y solvente. Posteriormente, en la fase "juego abierto" se invita a los participantes a manipular la simulación durante un tiempo determinado, registrando sus observaciones sobre la formación de soluciones, los cambios de concentración y la relación entre el color de la solución y la cantidad de soluto. Esta exploración incluyó la formulación de preguntas propias para estimular la curiosidad científica y el pensamiento crítico.

En la fase de "actividad/laboratorio", los estudiantes replican soluciones propuestas, identifican componentes y diseñan procedimientos propios para preparar y modificar soluciones de diferentes concentraciones, incorporando además la interpretación de representaciones gráficas que diferencian soluciones diluidas, concentradas y saturadas. La etapa de "síntesis o post-laboratorio" se centra en plantear preguntas sobre la relación entre soluto, solvente y concentración, el efecto de la evaporación, la reducción de volumen de solución o de disolvente, y la preparación de soluciones diluidas a partir de concentradas, con el fin de fomentar la metacognición y la autoevaluación del aprendizaje. Finalmente, la sección de "extensión" promueve la transferencia de conocimientos a la vida cotidiana y la comunicación científica, solicitando a los estudiantes su reflexión sobre las aplicaciones prácticas de la concentración de soluciones químicas y sobre la forma de explicar

el tema a otros. De este modo, la hoja de trabajo funciona como un andamiaje pedagógico que integra la teoría con la práctica, incentivando la autonomía, el trabajo colaborativo y la argumentación conceptual.

La simulación utilizada fue la de "Concentración", la cual se encuentra en el siguiente enlace: https://phet.colorado.edu/sims/html/concentration/latest/concentration_all.html?locale=es

La Figura 1 muestra fragmentos de la hoja de actividades con la simulación usada.

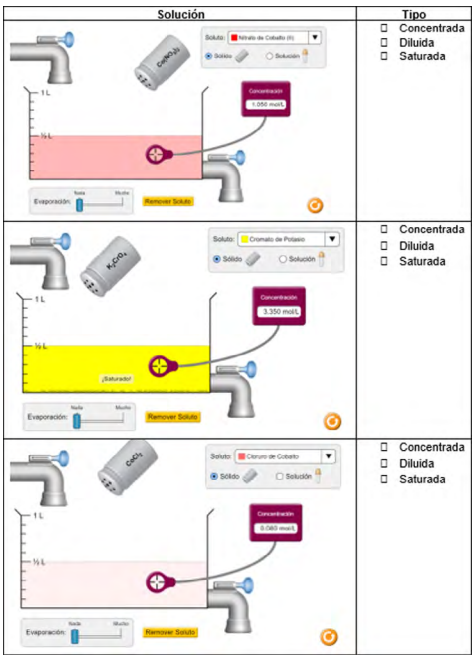


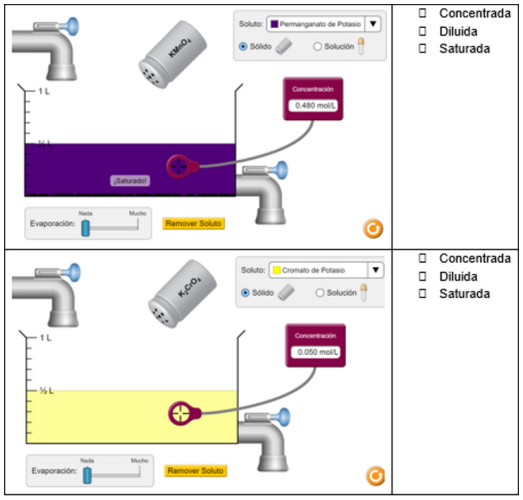
Soluto:
Solvente:
Concentración:

Diseña una guía para preparar una solución de sulfato de cobre de concentración 0,5 mol/L de dos maneras diferentes.

¿De qué maneras puedo aumentar la concentración de una solución? Responde y compara tus respuestas con las de tus compañeros

A partir de los siguientes gráficos, recrea las soluciones en el simulador y marca cuáles corresponden a soluciones concentradas, diluidas y saturadas





¿Menciona cómo diluirías una solución?

Discute con tus compañeros las diferencias entre las soluciones diluidas, concentradas y saturadas

Síntesis/Post-Laboratorio

De acuerdo a lo analizado ¿Cuál es la relación entre la cantidad de soluto y la concentración de la solución?

Figura 1. *Fragmentos de la hoja de actividades usada para la instrucción con PhET.*

Con el propósito de complementar los resultados obtenidos en el pre-test y el post-test, se implementó una rúbrica de observación orientada a valorar de manera cualitativa el desempeño y la participación de los estudiantes durante las sesiones prácticas. Este instrumento contempló diversos criterios de análisis, entre ellos: el nivel de motivación y disposición hacia las actividades, la interacción y colaboración entre pares, la claridad y precisión en la explicación de conceptos químicos, la capacidad para vincular los contenidos teóricos con situaciones experimentales concretas y el desarrollo de habilidades complementarias como la autonomía y el pensamiento crítico.

La investigación se desarrolló durante ocho semanas, divididas en las siguientes fases:

1.Fase inicial (Una semana):
- Aplicación del pre-test a ambos grupos
- Familiarización del grupo experimental con el simulador PhET

2. Fase de intervención (Seis semanas):

Grupo Experimental:
- Dos horas semanales de clase teórica
- Dos horas semanales combinando laboratorio

virtual PhET y prácticas tradicionales (estrategia híbrida)
- Utilización de la hoja de trabajo estructurada
- Desarrollo de actividades colaborativas (Discusión en equipos después de cada actividad de Indagación Guiada con la Hoja de Trabajo al usar el laboratorio virtual PhET y preparación de soluciones de diferentes concentraciones en equipos en el laboratorio tradicional)

Grupo Control:
- Dos horas semanales de clase teórica
- Dos horas semanales de prácticas tradicionales de preparación de soluciones con diferentes concentraciones.
- Desarrollo de actividades convencionales de laboratorio
- Desarrollo de actividades colaborativas (Preparación de soluciones de diferentes concentraciones en equipos en el laboratorio tradicional)

3. Fase final (Una semana):
- Aplicación del post-test a ambos grupos
- Recolección de datos complementarios

Los contenidos abordados incluyeron: concepto de solución y sus componentes, tipos de soluciones, concentración de las soluciones, unidades de concentración, preparación de soluciones de diferentes concentraciones y cálculo de Molaridad.

Los datos obtenidos se analizaron utilizando el software SPSS versión 28. Se realizó una prueba t para muestras independientes para comparar los resultados del pre-test y post-test entre los dos grupos, tanto de forma global como por dimensiones. En el análisis global se calculó el tamaño del efecto mediante la d de Cohen para determinar la magnitud del impacto de la intervención. También se utilizó una prueba t para muestras relacionadas con el fin de determinar las diferencias entre los resultados pre-test-post-test dentro de un mismo grupo.

Con respecto a las consideraciones éticas se obtuvo el consentimiento informado de los participantes y sus representantes legales. Se garantizó la confidencialidad de los datos y el anonimato de los participantes. La investigación fue aprobada por el comité de ética de la institución educativa y se realizó siguiendo las normativas vigentes para investigaciones educativas.

III. RESULTADOS

Los resultados obtenidos muestran diferencias evidentes en el rendimiento académico entre el grupo experimental y el grupo control, siendo los resultados muy parecidos en el pre-test, mientras que en el post-test, el grupo experimental es el que obtiene una puntuación media mayor, siendo la puntuación máxima que podían obtener los estudiantes de 10 puntos. La Tabla 2 presenta las estadísticas descriptivas de ambos grupos.

Evaluación	Grupo	N	Media	Desviación estándar
Pre-test	Experimental	46	5,24	1,32
	Control	46	5,18	1,28
Post-test	Experimental	46	8,45	1,15
	Control	46	6,82	1,24

Tabla 2. *Estadísticas descriptivas del pre-test y pos-test para ambos grupos.*

Se realizó una prueba t independiente sobre las puntuaciones del pre-test en el software SPSS vs. 28, el cual arrojó los datos recabados en la Tabla 3. Los resultados mostraron que no existen diferencias estadísticamente significativas entre las puntuaciones medias de los grupos experimental y de control (p = 0,082), esto indica que los ambos grupos inician el estudio en igualdad de condiciones.

Tipo de grupo	N	Media	Significación P de dos factores
Experimental	46	5,24	0,082
Control	46	5,18	

Tabla 3. *Puntuaciones medias obtenidas y resultados de la prueba t por los grupos en el pre-test.*

Para determinar si después de la instrucción con ambas estrategias (solo tradicional y tradicional con PhET) se tuvo una mejor comprensión conceptual del tema concentraciones químicas en los estudiantes se realizó una comparación entre el puntaje del pre y del post-test de cada grupo. La Figura 2 muestra las puntuaciones medias de cada grupo (GE y GC) tanto en el pre como post-test. En la figura se puede observar que ambos grupos mejoran su puntuación después de la instrucción. Sin embargo, la mejora obtenida por el grupo experimental es mayor que la del grupo de control.

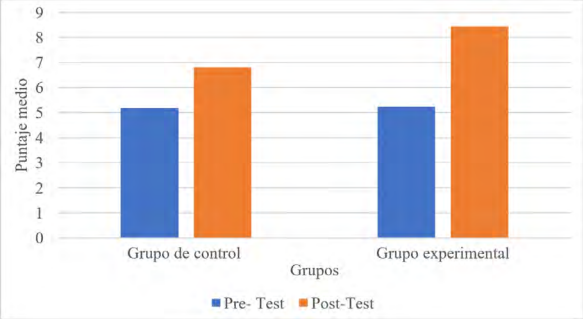


Figura 2. *Puntuaciones medias de los grupos en el pre y post-test.*

Con el fin de analizar si esta diferencia en la mejora de las puntuaciones entre el grupo experimental y de control son estadísticamente significativas se realizó una prueba t para muestras independientes para los resultados del post-test de ambos grupos, obteniéndose los resultados que se observan en la Tabla 4, donde se obtiene un valor de p<0,001, por lo que se concluye que sí existen diferencias estadísticamente significativas entre los resultados del post-test del grupo experimental y el grupo de control, siendo el primero el que obtiene mejores resultados (8,45/10), es decir 1,63 puntos por encima del grupo de control (6,82). Esto sugiere que la estrategia de instrucción híbrida fue más efectiva que la estrategia tradicional para la enseñanza de la temática concentración de soluciones químicas.

Tipo de grupo	N	Media	Significación P de dos factores
Experimental	46	8,45	<0,001
Control	46	6,82	

Tabla 4. *Puntuaciones medias obtenidas y resultados de la prueba t por los grupos en el post-test.*

Para determinar el tamaño del efecto entre estas diferencias se calculó el valor del d de Cohen el cual arrojó un resultado de 1,384, valor que representa un tamaño del efecto grande, mostrando que las diferencias encontradas son considerablemente fuertes.

Por su parte, para comparar las puntuaciones obtenidas en el pre y post-test en ambos grupos se realizó una prueba t para muestras emparejadas, los resultados recabados en la Tabla 5 muestran que existen diferencias significativas entre los resultados del pre y del post-test en ambos grupos (p<0,001), mostrando una mejora de 1,64 puntos en el grupo de control versus 3,21 puntos en el grupo experimental. Estos resultados muestran que ambas estrategias resultaron efectivas para mejorar la comprensión de la temática concentración de soluciones químicas en los estudiantes, siendo la estrategia usada en el grupo experimental la que produce los mejores resultados.

Pares		Media	Diferencia de medias	Significación P de dos factores
Par 1	GCPost	6,82	1,64	<0,001
	GCPre	5,18		
Par 2	GEPost	8,45	3,21	<0,001
	GEPre	5,24		

Tabla 5. *Puntuaciones medias obtenidas y resultados de la prueba t para muestras emparejadas en los grupos experimental y de control.*

Análisis por dimensiones conceptuales

Los resultados obtenidos por dimensiones se muestran en la Tabla 6 en la que se evidencia que la intervención aplicada al grupo experimental tuvo un impacto diferencial y significativo en el rendimiento académico de los estudiantes. Aunque ambos grupos mostraron desempeños iniciales similares en el pre-test, las diferencias se evidenciaron en el post-test, reflejando el efecto de la estrategia de aprendizaje implementada.

En la dimensión de comprensión conceptual, ambos grupos iniciaron con puntajes relativamente bajos. Tras la intervención, el grupo experimental alcanzó un aumento promedio de 1,95 puntos, mientras que el grupo control registró un aumento promedio de 1,20 puntos.

La dimensión de cálculo de concentración mostró la diferencia más marcada entre ambos grupos. El grupo experimental pasó de 4,12 a 8,20, lo que representa un incremento de 4,08 puntos, mientras que el grupo control aumentó únicamente 2,28 puntos (de 4,20 a 6,48).

En la dimensión de aplicación práctica, el grupo experimental mostró una mejora más evidente, con un incremento de 3,59 puntos frente a 1,45 puntos del grupo control.

Evaluación	Grupo	Dimensión	N	Media	Desviación estándar
Pre-test	Experimental	Comprensión conceptual	46	6,35	1,32
	Control		46	6,30	1,20
	Experimental	Cálculo de Concentración	46	4,12	1,17
	Control		46	4,20	1,38
	Experimental	Aplicación práctica	46	5,26	1,26
	Control		46	5,05	1,25

Post-test	Experimental	Comprensión conceptual	46	8,30	1,15
	Control		46	7,50	1,18
	Experimental	Cálculo de Concentración	46	8,20	1,24
	Control		46	6,48	1,13
	Experimental	Aplicación práctica	46	8,85	1,26
	Control		46	6,50	1,24

Tabla 6. *Estadísticas descriptivas del pre-test y pos-test para ambos grupos por dimensiones.*

Dimensión	Tipo de grupo	N	Media	Significación P de dos factores
Comprensión conceptual	Experimental	46	8,30	<0,001
	Control	46	7,50	
Cálculo de Concentración	Experimental	46	8,20	<0,001
	Control	46	6,48	
Aplicación práctica	Experimental	46	8,85	<0,001
	Control	46	6,50	

Tabla 7. *Puntuaciones medias obtenidas y resultados de la prueba t por los grupos en el post-test por dimensiones.*

Con el propósito de analizar si la diferencia en la mejora de las puntuaciones por dimensiones entre el grupo experimental y de control son estadísticamente significativas se realizó una prueba t para muestras independientes para los resultados del post-test de ambos grupos por dimensiones, obteniéndose los resultados registrados en la Tabla 7, donde se observa un valor de p<0,001 en las tres dimensiones, por lo que se concluye que sí existen diferencias estadísticamente significativas, siendo el grupo experimental el que obtiene los mejores resultados en todas las dimensiones como se mencionó anteriormente.

En términos generales, los resultados muestran que la estrategia de aprendizaje implementada generó un efecto consistente y diferencial en todas las dimensiones evaluadas, con un mayor impacto en el desarrollo de habilidades prácticas y procedimentales. Esto evidencia que el enfoque activo, guiado y centrado en la indagación mejora significativamente el rendimiento académico, superando a los métodos tradicionales en términos de comprensión, cálculo y aplicación práctica de los contenidos.

Observaciones cualitativas

Durante la implementación se observaron los siguientes aspectos relevantes aplicando una rúbrica que se observa en la Figura 3.

Criterio	Excelente	Satisfactorio	Básico	Inicial
Motivación y participación activa	Muestra entusiasmo constante, interviene en las discusiones, propone hipótesis y mantiene interés durante toda la sesión.	Participa de forma frecuente, aunque con menor iniciativa.	Participa solo cuando se le solicita, mostrando un interés moderado.	Presenta escasa motivación, se mantiene pasivo o distraído.
Interacción y colaboración en equipo	Colabora activamente con sus compañeros, asume roles dentro del grupo y promueve la dinámica de trabajo.	Coopera en la mayoría de las tareas, aunque con menor iniciativa en la organización grupal.	Su colaboración es ocasional y limitada a indicaciones externas.	No colabora ni se integra al trabajo en equipo.
Explicación y argumentación conceptual	Explica conceptos químicos con claridad, relaciona ideas con ejemplos pertinentes y argumenta con seguridad.	Explica de manera adecuada, aunque con algunas imprecisiones.	Tiene dificultades para explicar conceptos sin apoyo del docente.	No logra explicar ni relacionar conceptos de manera coherente.
Aplicación de contenidos en prácticas	Relaciona la teoría con la práctica de forma precisa, justifica procedimientos y anticipa resultados.	Relaciona teoría y práctica, aunque requiere guía del docente en algunos pasos.	Muestra limitaciones al vincular teoría con práctica, con vacíos conceptuales.	No logra establecer relación entre la teoría y la práctica.
Habilidades complementarias	Maneja con autonomía herramientas digitales, analiza críticamente los resultados, propone alternativas y contribuye a la resolución de problemas.	Utiliza recursos y estrategias de manera aceptable, aunque con apoyo frecuente.	Emplea recursos y estrategias de forma limitada, con fuerte dependencia del docente.	Presenta grandes dificultades para manejar recursos o resolver problemas de forma autónoma.

Figura 3. *Rúbrica de observación para valorar de manera cualitativa el desempeño y la participación de los estudiantes durante las sesiones prácticas.*

- Grupo experimental

- Motivación y participación activa: Más del 80% alcanzó nivel Excelente. Se observó entusiasmo sostenido, especialmente en las sesiones híbridas, donde los estudiantes intervenían proponiendo hipótesis y discutiendo resultados.

- Interacción y colaboración en equipo: Predominó el nivel Excelente. La organización de roles dentro de los equipos (cálculo, manipulación de materiales, registro de observaciones) permitió un trabajo

colaborativo sólido. Además, en las discusiones en equipo posteriores a cada actividad autónoma se observó una interacción animada y constante.

- Explicación y argumentación conceptual: Cerca del 70% se ubicó en Excelente, mostrando que los estudiantes tenían claros los conceptos revisados con el apoyo de la simulación PhET.

- Aplicación de contenidos en prácticas: Más del 75% alcanzó Excelente. Los estudiantes justificaron con precisión los procedimientos y anticiparon cambios en la concentración al modificar el soluto o el solvente.

- Habilidades complementarias: Alrededor del 85% se ubicó en Excelente. Los estudiantes mostraron autonomía en el manejo del simulador y aplicaron pensamiento crítico al comparar los resultados virtuales con los experimentales.

• Grupo control

- Motivación y participación activa: La mayoría (60%) se ubicó en Satisfactorio. Participaban de forma reactiva, principalmente siguiendo instrucciones, con menor iniciativa personal para proponer hipótesis.

- Interacción y colaboración en equipo: Predominó el nivel Satisfactorio. Los estudiantes trabajaron en equipos, pero la dinámica se centró en la ejecución de procedimientos sin mayor discusión conceptual.

- Explicación y argumentación conceptual: La distribución estuvo entre Satisfactorio y Básico. Los estudiantes podían explicar parcialmente los conceptos de concentración, pero sus explicaciones eran menos detalladas y requerían apoyo del docente.

- Aplicación de contenidos en prácticas: Más del 50% permaneció en Básico. Aunque realizaban los pasos del procedimiento correctamente, les costaba vincular cálculos matemáticos con la práctica experimental.

- Habilidades complementarias: En su mayoría se ubicaron en Inicial y Básico. La ausencia de herramientas digitales limitó el desarrollo de competencias tecnológicas, y se observó menor iniciativa para resolver problemas de manera autónoma.

Comparación entre grupos

El grupo experimental se destacó en motivación, argumentación conceptual y aplicación práctica, logrando que los estudiantes no solo ejecutaran las actividades, sino que también comprendieran y justificaran los fenómenos observados.

El grupo control, aunque mostró un desempeño correcto en las prácticas tradicionales, se caracterizó por un aprendizaje más procedimental y dependiente de la guía del docente, con menor desarrollo de autonomía y pensamiento crítico.

Los resultados sugieren que la integración del laboratorio virtual PhET con métodos tradicionales tiene un impacto positivo significativo en la comprensión de los conceptos de concentración de soluciones químicas y favorece el desarrollo de competencias transversales, superando los resultados obtenidos mediante la metodología tradicional exclusiva.

IV. DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en esta investigación demuestran que la integración del laboratorio virtual PhET con métodos tradicionales produce mejoras significativas en la comprensión de los conceptos de concentración de soluciones químicas. Este hallazgo se alinea con investigaciones previas sobre la efectividad de los enfoques híbridos en la enseñanza de las ciencias (17, 20, 25,). La diferencia significativa observada entre el grupo experimental y el grupo de control ($p < 0,001$) con un tamaño del efecto grande (d de Cohen = 1,384) sugiere que la combinación de métodos virtuales y tradicionales potencia el aprendizaje. Estos resultados son consistentes con los hallazgos de Tatli y Ayas (26), quienes encontraron que los laboratorios virtuales mejoran significativamente la comprensión conceptual en Química cuando se utilizan como complemento de las prácticas tradicionales.

La ganancia de aprendizaje superior en el grupo experimental (3,21 puntos versus 1,64 puntos) puede explicarse por la retroalimentación inmediata y el aprendizaje activo guiado que brindan las simulaciones PhET cuando se integran en un enfoque híbrido (simulación + laboratorio

tradicional). Las simulaciones PhET proporcionan respuestas instantáneas a las manipulaciones del estudiante, lo que permite la identificación de errores y la corrección durante el proceso de aprendizaje, además fomentan una exploración activa del contenido—donde los estudiantes formulan preguntas, manipulan variables y observan resultados directamente—esto, combinado de forma sinérgica con las prácticas tradicionales y la mediación docente facilita la comprensión significativa de los conceptos relativos a soluciones y concentración (27). La efectividad del enfoque híbrido observada en nuestro estudio respalda las conclusiones de De Jong et al. (17) y de Lestari et al. (20), quienes argumentan que los laboratorios virtuales y físicos tienen roles complementarios en el aprendizaje de las ciencias y la contribuyen más eficazmente en la mejora de las capacidades de alfabetización científica.

Los puntajes obtenidos en el post-test en las dimensiones: comprensión conceptual, cálculos de concentración y aplicación práctica por parte del grupo experimental coinciden con lo reportado por Liu et al. (21), quienes encontraron que la integración de laboratorios virtuales mejora la transferencia de conocimientos teóricos a situaciones prácticas. Un aspecto destacable es el desarrollo de habilidades complementarias en el grupo experimental, observación que concuerda con Husnaini y Chen (28) y con Kapici et al. (29), quienes encontraron que tanto el laboratorio virtual como el laboratorio físico fueron efectivos para enseñar conceptos simples, mejorando la autoeficacia en la indagación científica, especialmente en actividades cruciales como planificación y experimentación, promoviendo el disfrute, el desarrollo de competencias digitales, habilidades de pensamiento crítico, capacidad de resolución de problemas y trabajo colaborativo.

La implementación del enfoque híbrido presenta tanto desafíos como beneficios. Como señalan Winberg y Berg (30), la principal ventaja es la posibilidad de repetir experimentos sin costo adicional y sin riesgos de seguridad. Sin embargo, también se observaron limitaciones como la necesidad de tiempo adicional para la familiarización con el software, requerimientos tecnológicos específicos y la necesidad de capacitación docente, coincidiendo con las identificadas por Climent-Bellido et al. (31).

La mejora significativa en el grupo experimental sugiere que la secuenciación de actividades virtuales y tradicionales es crucial, coincidiendo con Zacharia y Olympiou (32). La estructura de las actividades debe promover la conexión entre las experiencias virtuales y físicas, aspecto fundamental según Chiu et al. (33) para la construcción de comprensión conceptual profunda. El papel del profesor como facilitador en la integración de ambos entornos es crucial, afirmación que concuerda con las observaciones de Kennepohl (34) sobre la importancia de la mediación docente en entornos de aprendizaje híbridos.

V. CONCLUSIONES

Este estudio cuasiexperimental proporciona evidencia empírica que respalda la efectividad de integrar laboratorios virtuales PhET con métodos tradicionales para la enseñanza de conceptos de concentración de soluciones químicas. El enfoque instruccional híbrido demostró mejoras estadísticamente significativas en todas las dimensiones evaluadas, con un tamaño del efecto global que indica una relevancia práctica sustancial para la educación química secundaria. El rendimiento superior del grupo experimental (8,45/10 vs 6,82/10, $p<0,001$, d de Cohen = 1,384) demuestra que la combinación de laboratorios virtuales y tradicionales potencia el aprendizaje, creando un efecto sinérgico que supera los beneficios de usar cada estrategia de forma aislada. El análisis dimensional reveló mejoras particularmente notables en la aplicación práctica (ganancia de 3,59 puntos) y cálculos de concentración (ganancia de 4,08 puntos), sugiriendo que el enfoque híbrido conecta efectivamente la comprensión teórica con la competencia procedimental. Las observaciones cualitativas corroboran estos hallazgos cuantitativos, evidenciando una mayor motivación estudiantil, habilidades colaborativas y capacidades de argumentación científica en el grupo experimental.

Sin embargo, deben reconocerse varias limitaciones al interpretar estos resultados. El estudio se realizó en una institución educativa pública específica, lo que podría limitar la generalización de resultados a diferentes contextos educativos. El período de intervención de ocho semanas, aunque suficiente para demostrar efectos significativos, puede no capturar la retención a largo plazo o

la transferencia del aprendizaje de los temas abordados. El instrumento de evaluación, a pesar de su confiabilidad adecuada (α = 0,85), se centró principalmente en la comprensión conceptual y cálculos más que en habilidades de indagación científica más amplias o desarrollo metacognitivo.

Por otro lado, esta investigación abre múltiples líneas de trabajo futuro. Los estudios longitudinales son fundamentales para evaluar la durabilidad de las ganancias de aprendizaje y establecer el momento óptimo para integrar experiencias de aprendizaje híbridas. Además, se necesitan estudios comparativos entre diferentes plataformas de laboratorios virtuales que permitan desarrollar criterios de selección basados en evidencia científica.

Además, es necesario crear y validar herramientas de evaluación más completas, capaces de medir todas las habilidades de indagación científica que desarrollan estas experiencias mixtas. Otro aspecto clave es la formación docente: se requiere investigar cómo preparar mejor a los profesores y acompañarlos en su desarrollo profesional para que puedan aplicar con éxito estas metodologías híbridas.

Finalmente, incorporar tecnologías emergentes como la realidad aumentada, la inteligencia artificial para retroalimentación y los sistemas de aprendizaje adaptativo abre nuevas oportunidades para la enseñanza de la química. Estas innovaciones pueden enriquecer el aprendizaje científico y aprovechar al máximo los avances tecnológicos, sin perder el valor esencial de la experimentación práctica.

VI. REFERENCIAS

1. Willame B, Snauwaert P. Les difficultés rencontrées dans l'apprentissage du concept de concentration en chimie. Construction d'un outil didactique permettant de mettre en évidence les erreurs d'élèves lors de l'utilisation du concept de concentration chimique. Spiral-Rev rech éduc suppl électron [Internet]. 2015;55(1):177–205. Disponible en: http://dx.doi.org/10.3406/spira.2015.1743

2. Ullah S, Ali N, Rahman SU. The effect of procedural guidance on students' skill enhancement in a virtual chemistry laboratory. J Chem Educ. 2016;93(12):2018–25. https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.5b00969

3. Wolski R, Jagodzinski P. Virtual laboratory – Using a hand movement recognition system to improve the quality of chemical education. Br J Educ Technol. 2017;50(1):218–31. https://doi.org/10.1111/bjet.12563

4. Manyilizu MC. Effectiveness of virtual laboratory vs. paper-based experiences to the hands-on chemistry practical in Tanzanian secondary schools. Educ Inf Technol. 2022;28:4831–48. https://doi.org/10.1007/s10639-022-11327-7

5. Carnevale D. The virtual lab environment. Chron High Educ. 2003;49(21):A30–2.

6. Chien KP, Tsai CY, Chen HL, Chang WH, Chen S. Learning differences and eye fixation patterns in virtual and physical science laboratories. Comput Educ. 2015;82:191–201. https://doi.org/10.1016/j.compedu.2014.11.023

7. Jaya H. Virtual-based digital electronics practicum media design. Inspiration J Teknol Inf Komun. 2013;3(1):1–12.

8. Campos Mera G, Benarroch Benarroch A. Laboratorios virtuales para la enseñanza de las ciencias: una revisión sistemática. Enseñ Cienc. 2024;42(2):109–29. https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.6040

9. Faour MA, Ayoubi Z. The effect of using virtual laboratory on grade 10 students' conceptual understanding and their attitudes towards physics. J Educ Sci Environ Health. 2018;4(1):54–68. https://www.jeseh.net/index.php/jeseh/article/view/131

10. Maulidah SS, Prima EC. Using Physics Education Technology as virtual laboratory in learning waves and sounds. J Sci Learn. 2018;1(3):116–21. https://doi.org/10.17509/jsl.v1i3.11797

11. Carrion-Paredes FA, Garcia Herrera DG, Erazo Alvarez CA, Erazo Alvarez JC. Simulador virtual PhET como estrategia metodológica para el aprendizaje de química. CIENCIAMATRIA. 2020;6(3):193–216. https://doi.org/10.35381/cm.v6i3.396

12. Puspitaningtyas E, Putri EFN, Umrotul U, Sutopo S. Analysis of high school students' concept mastery in light wave using structured inquiry learning assisted by a virtual laboratory. Rev Mex Fis. 2021;18(1):10–22. https://doi.org/10.31349/RevMexFisE.18.10

13. Yildirim FS. The effect of virtual laboratory applications on 8th grade students' achievement in science lesson. J Educ Sci Environ Health. 2021;7(2):171–81. https://doi.org/10.21891/jeseh.837243

14. Carchipulla Altamirano CL, Guevara Vizcaíno CF. Laboratorios virtuales para fortalecer el aprendizaje de la química en segundo de bachillerato. Cienc Digit. 2022;6(4):137–54. https://doi.org/10.33262/cienciadigital.v6i4.2340

15. Ndagijimana JB, Musengimana J, Mushimiyimana H, Mukama E, Habimana O, Manirakiza P, et al. Contribution of an instructional module incorporating PhET simulations to Rwandan students' knowledge of chemical reactions, acids, and bases through social interactions. Chem Educ Res Pract. 2025;26:289–99. https://doi.org/10.1039/D4RP00105B

16. Intriago-Álava C, Córdova-Navia S, Guaigua-Guaigua J, Garcia-Hevia S. Estrategia didáctica basada en simuladores virtuales para fortalecer el aprendizaje de la física en el bachillerato general unificado. Rev Cient Multidiscipl Arbitrada YACHASUN. 2024;8(15):1013–41. https://editorialibkn.com/index.php/Yachasun/article/view/558/923

17. De Jong T, Linn MC, Zacharia ZC. Physical and virtual laboratories in science and engineering education. Science. 2013;340(6130):305–8. https://doi.org/10.1126/science.1230579

18. Supahar, Widodo E. The feasibility test on laboratory based on virtual instrument system as nature of science learning media. In: Proceedings of the International Conference on Educational Research and Innovation (ICERI 2019). Paris: Atlantis Press; 2020. p. 213–21. https://doi.org/10.2991/assehr.k.200204.040

19. Lestari DP, Supahar. Students and teachers' necessity toward virtual laboratory as an instructional media of 21st century science learning. J Phys Conf Ser. 2020;1440:012091. https://doi.org/10.1088/1742-6596/1440/1/012091

20. Lestari DP, Supahar, Paidi, Suwarjo, Herianto. Effect of science virtual laboratory combination with demonstration methods on lower-secondary school students' scientific literacy ability in a science course. Educ Inf Technol. 2023;1–23. https://doi.org/10.1007/s10639-023-11857-8

21. Liu D, Valdiviezo-Díaz P, Riofrio G, Sun YM, Barba R. Integration of virtual labs into science e-learning. Procedia Comput Sci. 2015;75:95–102. https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.12.224

22. Taskin V, Bernholt S. Students' understanding of chemical formulae: A review of empirical research. Int J Sci Educ. 2014;36(1):157–85. https://doi.org/10.1080/09500693.2012.744492

23. Ramos-Galarza C. Editorial: diseños de investigación experimental. CienciAmérica. 2021;10(1):1–7. https://doi.org/10.33210/ca.v10i1.356

24. López D. Estrategias didácticas para el uso eficaz de simulaciones interactivas en el aula. Lat Am J Sci Educ. 2020;7(12019):1–14.

25. Sypsas A, Kalles D. Virtual laboratories in biology, biotechnology and chemistry education: A literature review. In: Proceedings of the 22nd Pan-Hellenic Conference on Informatics. New York: ACM; 2018.

26. Tatli Z, Ayas A. Effect of a virtual chemistry laboratory on students' achievement. Educ Technol Soc. 2013;16(1):159–70.

27. Moore EB, Chamberlain JM, Parson R, Perkins KK. PhET interactive simulations: Transformative tools for teaching chemistry. J Chem Educ. 2014;91(8):1191–7. https://doi.org/10.1021/ed4005084

28. Husnaini SJ, Chen S. Effects of guided inquiry virtual and physical laboratories on conceptual understanding, inquiry performance, scientific inquiry self-efficacy, and enjoyment. Phys Rev Phys Educ Res. 2019;15(1). https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.15.010119

29. Kapici HO, Akcay H, Cakir H. Investigating the effects of different levels of guidance in inquiry-based hands-on and virtual science laboratories. Int J Sci Educ. 2022;44(2):324–45. https://doi.org/10.1080/09500693.2022.2028926

30. Winberg TM, Berg CAR. Students' cognitive focus during a chemistry laboratory exercise: Effects of a computer-simulated prelab. J Res Sci Teach. 2007;44(8):1108–33. https://doi.org/10.1002/tea.20217

31. Climent-Bellido MS, Martínez-Jiménez P, Pontes-Pedrajas A, Polo J. Learning in chemistry with virtual laboratories. J Chem Educ. 2003;80(3):346. https://doi.org/10.1021/ed080p346

32. Zacharia ZC, Olympiou G. Physical versus virtual manipulative experimentation in physics learning. Learn Instr. 2011;21(3):317–31. https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2010.03.001

33. Chiu JL, DeJaegher CJ, Chao J. The effects of augmented virtual science laboratories on middle school students' understanding of gas properties. Comput Educ. 2015;85:59–73. https://doi.org/10.1016/j.compedu.2015.02.007

34. Kennepohl DK. Using computer simulations to supplement teaching laboratories in chemistry for distance delivery. Int J E-Learn Distance Educ. 2007;16(2):58–65. https://www.ijede.ca/index.php/jde/article/view/178/124