

Aprendizaje basado en la indagación y laboratorios virtuales para fortalecer las competencias científicas en Biología del Bachillerato

Inquiry-Based Learning and Virtual Laboratories to Strengthen Scientific Competencies in High School Biology

Augusto Paolo Bernal Parraga¹, Alvarado Cantos Tania Madelen², Lucas Farías María Sergia³, Palacios Palma Paola Patricia⁴, Melina Virginia Demera Moreira⁵

Cita:

Bernal Parraga, A. P., Alvarado Cantos, T. M., Lucas Farías, M. S., Palacios Palma, P. P., & Demera Moreira, M. V. (2026). Aprendizaje basado en la indagación y laboratorios virtuales para fortalecer las competencias científicas en Biología del Bachillerato. *Prometeo Conocimiento Científico*, 6(2), e147.

<https://doi.org/10.55204/pcc.v6i2.e147>

Recibido: 18/05/2026

Revisado: 25/05/2026 al 10/07/2026

Corregido: 24/07/2026

Aceptado: 31/07/2026

Publicado: 07/08/2026

Licencia:

Los contenidos de este artículo están bajo una licencia de Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0). Los autores conservan los derechos morales y patrimoniales de sus obras.

The contents of this article are under a Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) license. The authors retain the moral and patrimonial rights of their works.

¹Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE

²Ministerio de Educación, Deporte y Cultura

³Ministerio de Educación, Deporte y Cultura

⁴Universidad Estatal del Sur de Manabí

⁵Independiente

¹abernal2009@gmail.com, ²taniam.alvarado@educacion.gob.ec, ³sergia.lucas@docentes.educación.edu.ec, ⁴palacios-paola0810@unesum.edu.ec, ⁵melinadme23@gmail.com

¹<https://orcid.org/0000-0003-0289-8427>, ²<https://orcid.org/0009-0009-4641-5571>,

³<https://orcid.org/0000-0001-8394-854X>, ⁴<https://orcid.org/0000-0001-9202-0268>,

⁵<https://orcid.org/0009-0009-5686-6851>

Resumen: La promoción de competencias científicas constituye uno de los más grandes retos de la enseñanza de la Biología en el Bachillerato, sobre todo en contextos donde las limitaciones de infraestructura impiden la realización de las actividades experimentales. Esta investigación tuvo como meta analizar el efecto del aprendizaje basado en la indagación mediado por laboratorios virtuales sobre las competencias científicas de estudiantes de Bachillerato en Ecuador. Se realizó un estudio con enfoque cuantitativo, alcance explicativo y diseño cuasiexperimental con grupo control no equivalente y medición pretest-posttest. El objeto de estudio estuvo formado por 420 estudiantes participantes distribuidos en grupo experimental (n = 210) y grupo control (n = 210) de instituciones educativas de seis provincias ecuatorianas, y la intervención se llevó a cabo durante ocho semanas mediante actividades de indagación guiada mediadas por laboratorios virtuales para el aprendizaje de contenidos de Biología. Los datos fueron recogidos mediante un cuestionario de competencias científicas validado por juicio de expertos y el análisis fue mediante estadística descriptiva e inferencial. Los resultados comprobaron una mejora estadísticamente significativa del grupo experimental respecto al grupo control en: comprensión conceptual, método científico, diseño experimental, interpretación de datos, resolución de problemas biológicos, argumentación científica y competencia científica global (p < 0,05). Se concluye en que la combinación de una metodología de aprendizaje basado en la indagación y laboratorios virtuales permite un gran fortalecimiento de las competencias científicas y es una buena estrategia de innovación para la enseñanza de la Biología en el Bachillerato.

Palabras clave: aprendizaje basado en la indagación; laboratorios virtuales; competencias científicas; enseñanza de la Biología; Bachillerato.

Abstract: Promoting scientific competencies remains one of the major challenges in high school Biology education, particularly in settings where limited laboratory infrastructure restricts opportunities for experimental learning. This study examined the effect of inquiry-based learning supported by virtual laboratories on the scientific competencies of high school students in Ecuador. A quantitative study with an explanatory scope and a quasi-experimental pretest-posttest design involving a non-equivalent control group was conducted. The sample consisted of 420 students from secondary schools across six Ecuadorian provinces, divided into an experimental group (n = 210) and a control group (n = 210). The intervention lasted eight weeks and engaged the experimental group in guided inquiry activities using virtual laboratories to explore Biology concepts. Data were collected through a scientific competencies questionnaire that had been validated by expert review. Descriptive and inferential statistical analyses were performed to evaluate the intervention's impact. The findings revealed statistically significant improvements in the experimental group compared with the control group in conceptual understanding, application of the scientific method, experimental design, data interpretation, biological problem-solving, scientific argumentation, and overall scientific competence (p < 0.05). The results indicate that integrating inquiry-based learning with virtual laboratories substantially strengthens students' scientific competencies and represents an effective instructional approach for improving Biology education at the high school level.

Keywords: inquiry-based learning; virtual laboratories; scientific competencies; Biology education; upper secondary education.

INTRODUCCIÓN

En el Bachillerato la formación científica es un aspecto fundamental para que los alumnos y las alumnas puedan estar en condiciones de comprender ciertos fenómenos naturales y de evaluar información que esté fundamentada en evidencias, así como de poder participar responsablemente en decisiones relacionadas con la salud, el medioambiente, la tecnología y la sociedad. Con el objetivo de concretar este fin en la

enseñanza de la Biología, se requiere superar prácticas de enseñanza que se fundamenten únicamente en la transmisión de contenido y la memorización de conceptos, ya que aprender ciencia implica también formular preguntas investigables, formular hipótesis, diseñar procedimientos, interpretar datos, argumentar en base a evidencias y comunicar conclusiones. Desde esta visión, las competencias científicas no se reducen al dominio de los conceptos, sino que se caracterizan por la existencia de contenidos, procedimientos, actitudes y capacidades para razonar en función de situaciones reales. Pero los metodologías de enseñanza de las ciencias no pocas veces en los diferentes contextos educativos se desarrollan a partir de metodologías expositivas, de ejercicios de reproducción y de actividades experimentales poco frecuentes. Si bien a menudo los docentes se hacen conscientes del valor pedagógico de la indagación, su implantación será dignificada por la presencia de recursos, formación metodológica, tiempo curricular y condiciones institucionales. Esta distancia entre la valorización teórica de la indagación y su uso sistemático en las clases implica una limitación de las oportunidades de los estudiantes para entrar en una práctica activa de construcción del conocimiento científico (Guerrero & Bautista, 2023). Para modificar esta situación, el aprendizaje mediante la indagación se erige como una alternativa. Este aprendizaje pone al estudiante ante problemas, preguntas o fenómenos que requieren observación, búsqueda de evidencias y experimentación, análisis y formulación de explicaciones. La indagación favorece, además, la práctica activa, la autorregulación, el trabajo colaborativo, la comunicación argumentada de los resultados (Constantinou et al., 2018). La información revisada sugiere que los enfoques indagatorios pueden potenciar el pensamiento de orden superior, las habilidades investigativas y la alfabetización científica, fundamentalmente si las actividades van acompañadas de orientación del profesorado y de una secuencia de resolución de problemas explícita (Antonio y Prudente, 2023; Aripin et al., 2021). En Biología, la indagación guiada aproxima al alumnado a la lógica de la investigación científica formulando hipótesis, manipulando variables, recogiendo datos y evaluando explicaciones. Las investigaciones realizadas con alumnado de secundaria han observado mejoras en las habilidades experimentales, de análisis de evidencias y de formulación de conclusiones después de participar en actividades de laboratorio indagatorio; también se han observado efectos favorables sobre la actitud hacia la Biología, la motivación y la participación del alumnado (Chengere et al., 2025a; Chengere et al., 2025b). A pesar de los beneficios que puede conllevar la aplicación de actividades experimentales, estas pueden llegar a insuflar muchas dificultades, en relación con la realidad descrita por la falta de equipamiento, de materiales, de reactivos, de infraestructura y de condiciones de seguridad derivadas de su aplicación. Una infraestructura de estas características puede ser especialmente relevante las instituciones rurales o geográficamente dispersas. Ante esta problemática, la respuesta que pueden dar los laboratorios virtuales es proporcionar un entorno digital a través del cual pueden modificarse las variables, repetirse los procedimientos, observarse los procesos microscópicos o abstractos y poder analizar los resultados sin depender de los espacios de instalación. La accesibilidad, la repetitividad y la reducción de los riesgos hacen de estos entornos un recurso potencialmente útil para incrementar las oportunidades de experimentación científica (de Jong et al., 2013; Reyes et al., 2024).

En el ámbito de la enseñanza de la Biología, los laboratorios virtuales han dado resultados favorables para la comprensión de conceptos, de la motivación e incluso para responder al desarrollo de habilidades investigativas y en el aprendizaje de contenidos complejos, tales como pueden ser la genética, la biología celular y la microbiología (Byukusenge et al., 2022). Igualmente, permiten proporcionar vivencias auténticas de experiencia de diseño experimental, de manera que en situaciones con escaso acceso a organismos, dispositivos, o materiales concretos se pueda ofrecer esa experiencia así (Carvan et al., 2024).

Sin embargo, la inclusión de tecnología no garantiza un aprendizaje significativo. La introducción de un laboratorio virtual ofrece también un aprendizaje significativo, pero depende de la forma en que se articule dentro de los ejes de intencionalidad curricular, de la forma en que exista feedback, mediación del profesorado y ayudas cognitivas para llevar a cabo la investigación con esta (Lai et al., 2021). La evidencia comparativa indica que los laboratorios físicos y los laboratorios virtuales tienen ventajas complementarias entre sí y que ninguna opción es universalmente superior a la otra para todos los contenidos y todos los niveles educativos (Mulwijk & Lazonder, 2023). La combinación de realidades de forma indudable puede ofrecer mejores resultados conceptuales pero siempre y cuando se den dentro de un sistema curricular perfectamente articulado (Wörner et al., 2022). La literatura de los tiempos más recientes refleja un caudal

creciente de acuerdo en que se hace necesario modificar los procesos de enseñar mediante metodologías activas, tecnologías emergentes y enfoques centrados en el/la estudiante. Distintas investigaciones muestran que el uso de recursos tecnológicos propician el desarrollo de competencias cognitivas, la comprensión lectora y el aprendizaje individualizado desde las etapas iniciales de la educación (Torres Illescas et al., 2024; Mena Castillo et al., 2026; Chicaiza, 2025; Jara Chiriboga et al., 2025). En matemáticas, se ha evidenciado que la resolución de problemas, el aprendizaje basado en proyectos, el uso de materiales manipulativos vinculados a la enseñanza, las estrategias colaborativas, etcétera, fomentan el razonamiento lógico, la comprensión de conceptos abstractos y el desarrollo de aprendizajes significativos (Zamora Franco et al., 2024; Alvarez Piza et al., 2024a, 2024b; Alarcón Burneo et al., 2024). Con la misma línea, se conoce que también se han enfatizado positivamente el uso de las metodologías activas en el área de los Estudios Sociales, en la Educación Física, en la Educación Inicial, y la inclusión educativa, ya que promueven la participación, el desarrollo de habilidades sociales, la autonomía, la motivación y la atención a la diversidad, a través de nuevas estrategias y tecnologías de apoyo (Acosta Porras et al., 2024; Albán Pazmiño et al., 2024; Aráuz Cerezo et al., 2026; Fajardo López et al., 2024; Yaule Chingo et al., 2024; Zambrano Vergara et al., 2024; Troya Santillán et al., 2024). De forma paralela, en el ámbito de la educación, se sabe que los escenarios educativos se han visto alterados progresivamente mediante el uso de la inteligencia artificial, de la gamificación, de las plataformas de evaluación digital y de las herramientas para la escritura académica, pues las nuevas tendencias educativas han favorecido la retroalimentación, la motivación, la competencia comunicativa, la producción del conocimiento, etc.; favoreciendo así experiencias de aprendizaje personalizadas y significativas (Orden Guaman et al., 2024; Quiroz Moreira et al., 2024; Rodríguez López et al., 2026; Villacreses Sarzoza et al., 2025). El fomento del liderazgo transformacional, la gestión educativa y la orientación escolar también representa un elemento clave para establecer procesos satisfactorios de innovación sostenibles dentro de las instituciones educativas, generando condiciones organizacionales propicias para la adopción de nuevas metodologías y tecnologías relacionadas con la enseñanza y el aprendizaje (Troya et al., 2024; Tello Mayorga et al., 2025). A su vez, evidencian que la combinación de metodologías activas, recursos tecnológicos e inteligencia artificial es una tendencia consolidada para la mejora del aprendizaje, el desarrollo competencial y la calidad de los procesos educativos en los distintos niveles de enseñanza, sin embargo, todavía se presentan retos e incertidumbres en relación con su implementación sistemática y la evaluación del impacto en diversas prácticas escolares. En el contexto ecuatoriano, la disponibilidad de infraestructura de telecomunicaciones y de recursos tecnológicos ha sido señalada como un componente relevante para sostener servicios educativos y ampliar el acceso a entornos digitales de aprendizaje (Santillán Lima et al., 2016; Santillán-Lima et al., 2017). Estudios previos sobre infraestructura universitaria también han mostrado la necesidad de dimensionar las redes frente al crecimiento del tráfico de datos y de asegurar la conservación de la información digital en las instituciones educativas (Santillán Lima, 2013; Lima et al., 2021). De manera complementaria, la enseñanza de contenidos ambientales puede beneficiarse de estrategias contextualizadas que vinculan la ciencia escolar con problemas de sostenibilidad, como los huertos urbanos (Moposita et al., 2021). A pesar del aumento en las investigaciones acerca de indagación y simulaciones digitales existe un vacío en relación en el análisis de ambos enfoques en la enseñanza de la Biología en Bachillerato en Ecuador. La mayor parte del material disponible proviene de contextos internacionales, de asignaturas ajenas a la Biología o de instituciones con condiciones tecnológicas diferentes. A su vez, son escasos los análisis que observan de forma conjunta la comprensión conceptual, el dominio del método científico, el diseño experimental, la interpretación de datos, la resolución de problemas y la argumentación científica entre estudiantes de provincias que presentan diferencias en sus características territoriales, institucionales y socioeducativas.

Frente a dicha carencia, el presente trabajo de investigación pretende analizar los cambios que se producen en las competencias científicas de estudiantes de Bachillerato a partir del diseño de una intervención educativa basada en la indagación y mediada por laboratorios virtuales para la enseñanza de la Biología. Esta investigación tiene en cuenta estudiantes de instituciones educativas ubicadas en distintas provincias de Ecuador y analiza las diferencias de resultados antes y después de la intervención. Su principal aportación reside en generar evidencia contextualizada sobre las posibilidades y limitaciones de la integración de indagación guiada y experimentación virtual como estrategia para fortalecer la formación científica, limitar el acceso a experiencias experimentales y ayudar a las decisiones pedagógicas en contextos educativos caracterizados por la heterogeneidad.

MÉTODOS Y RECURSOS

La investigación fue enmarcada en un enfoque cuantitativo, con alcance explicativo, y en un diseño de investigación cuasiexperimental de grupos no equivalentes con medición pretest-posttest. Se optó por este diseño por su idoneidad para evaluar el efecto de las intervenciones pedagógicas ejercidas en contextos de educación escolar y las condiciones limitadas que tiene la aleatorización individual de los participantes, ya que la organización académica de las instituciones lo hace difícil. En este tipo de diseños, los grupos son intactos y se realizó la comparación entre las mediciones iniciales y las finales para activar la estimación del efecto de la intervención en la variable dependiente, preservando las condiciones, por tanto, naturales del proceso de enseñanza-aprendizaje. Para la literatura científica, los diseños cuasiexperimentales constituyen una de las estrategias metodológicas más adecuadas para valorar innovaciones didácticas basadas en la indagación y en el uso de tecnologías educativas adquiridas en ciencias, ya que combinan la validez ecológica con un control suficiente para el análisis de los resultados (Antonio & Prudente, 2023; Chengere et al., 2025a). La variable independiente fue la aplicación de una estrategia de aprendizaje de la indagación mediada por laboratorios virtuales, siendo la variable dependiente el nivel de competencias científicas en Biología, medida previo a la intervención y posteriormente a la misma.

La población objeto correspondió a los estudiantes de Bachillerato General Unificado que se matricularon en las instituciones educativas de las provincias Carchi, Galápagos, Morona Santiago, Orellana, Santa Elena y Zamora Chinchipe, donde divergen diversos espacios geográficos y socioculturales de Ecuador.

La muestra estuvo conformada por 420 estudiantes, de los cuales 210 corresponden al grupo experimental ($n = 210$) y un grupo control ($n = 210$). La técnica de recogida de datos empleada fue el muestreo estratificado y las variables estratos usados correspondieron a la provincia y el nivel educativo (primero, segundo o tercero de Bachillerato), todo lo cual permitió asegurar el muestreo de los diferentes contextos geográficos y académicos que han sido recogidos en la investigación. Después, dentro de cada estrato, se seleccionaron intactas aulas (conglomerados), las cuales fueron asignadas al grupo experimental o al grupo control en función de la organización institucional y, por supuesto, de la disponibilidad de las unidades educativas participantes. Con esta lógica, se asegura que la estructura natural de las clases se mantenga intacta y se reduce el riesgo de contaminación entre tratamientos y se conservan las condiciones reales del contexto escolar, algo típicamente característico de los diseños cuasiexperimentales llevados a cabo en contextos educativos (Papalazarou et al., 2023).

La intervención se llevó a cabo durante un total de ocho semanas, llevándose a cabo una sesión de 45 min por semana, esto es, un total de ocho sesiones didácticas. Esta duración permitía gestionar las fases del aprendizaje basado en la indagación de forma progresiva y escalonada, facilitando la construcción gradual de las competencias científicas y evitando intervenciones de corta duración, las cuales suelen tener efectos limitados. La estrategia didáctica se estructuró bajo el modelo 5E (Engage, Explore, Explain, Elaborate y Evaluate), modelo extensamente utilizado en la enseñanza de las ciencias, ya que favorece la participación activa del alumnado y la construcción gradual del conocimiento científico. En cada sesión, el alumnado planteó preguntas investigables, formuló hipótesis, elaboró procedimientos experimentales, manipuló variables, analizó evidencias, interpretó resultados y comunicó conclusiones argumentadas. Este modelo favorece, entre otras cosas, la construcción del pensamiento científico, la resolución de problemas y la construcción de argumentaciones basadas en la evidencia (Antonio & Prudente, 2023; Aripin et al., 2021).

Las actividades experimentales se llevaron a cabo a través de las plataformas Labster, HHMI BioInteractive y simulaciones PhET, seleccionadas por su base científico, por ser accesibles y por ser extensamente utilizadas en la enseñanza de las ciencias. Estas plataformas permiten poder recrear procesos biológicos complicados, manipular variables experimentales, repetir procedimientos e indicar retroalimentación de forma instantánea en un entorno seguro y generalmente interactivo. La literatura evidencia que los laboratorios virtuales integrados con estrategias indagatorias mejoran la comprensión conceptual, las habilidades experimentales y la motivación hacia el aprendizaje de la ciencia (de Jong et al., 2013; Byukusenge et al., 2022; Reyes et al., 2024).

Los contenidos tratados se fundamentaron en el currículo nacional de Bachillerato de Biología e incluyeron biología celular, genética y herencia, fisiología humana, microbiología y ecología. Esta decisión

formó parte de la necesidad abordar contenidos que exigían una visualización dinámica de los procesos biológicos y experimentación controlada, condiciones de las cuales los laboratorios virtuales han demostrado ser eficientes desde el punto de vista pedagógico (Agustin et al., 2024).

Los datos fueron recogidos mediante un Cuestionario de Competencias Científicas en Biología (CCCB), desarrollado específicamente para la investigación en que nos encontramos, a partir de la fundamentación del aprendizaje basado en indagación y de la de los indicadores internacionales de alfabetización científica. El instrumento valoró dimensiones propias de la comprensión conceptual, formulación de preguntas científicas, elaboración de hipótesis, diseño experimental, recogida e interpretación de datos, resolución de problemas, argumentación científica, comunicación de resultados, percepción del uso de laboratorios virtuales, motivación y competencia científica global.

El cuestionario se cumplimentó de manera anticipada a la intervención (pretest) y una vez finalizadas las ocho semanas de implementación de la estrategia didáctica (postest), permitiendo de este modo explicar los cambios que pudo provocar la estrategia didáctica.

La validez de contenido del instrumento fue determinada a partir del juicio de siete expertos conocedores de la didáctica de las ciencias, de la Biología, de la evaluación educativa, de la metodología de la investigación. Cada uno de los ítems fue valorado en relación a su claridad, pertinencia, coherencia y relevancia, calculándose el coeficiente V de Aiken, siendo todos los coeficientes superiores a 0,80, lo que denota una adecuada representatividad del contenido. A continuación, se llevó a cabo una prueba piloto con estudiantes que presentaban las mismas características que la población de estudio a fin de conocer el grado de comprensión de los ítems, de aplicación de los mismos y de funcionamiento de la escala utilizada para la respuesta. La consistencia interna fue estimada a través del coeficiente alfa de Cronbach, observándose un valor global superior a 0,90 y coeficientes superiores a 0,80 en todas las dimensiones, indicadores considerados como excelentes para estudios e investigaciones educativas. Este procedimiento metodológico es coherente con las recomendaciones internacionales sobre la construcción y la validación de instrumentos destinados a la medición en educación.

La investigación se realizó en cuatro fases. En la primera fase se obtuvo la autorización de las instituciones educativas, así como el consentimiento informado de los representantes legales, a quienes se les hizo entrega de toda la información requerida sobre la investigación, y el asentimiento de los estudiantes que participaron en la investigación. En la segunda fase se aplicó el pretest simultáneamente a los miembros del grupo experimental y del grupo control, con el objetivo de obtener la línea base de las competencias científicas. En la tercera fase se implementó la intervención pedagógica sistematizada en indagación y en laboratorios virtuales únicamente para el grupo experimental, siendo que el grupo control continuó bajo la metodología de enseñanza convencional. Ya en la cuarta fase, se aplicó el postest con las mismas características de aplicación que el pretest y se generó la base de datos para su posterior análisis estadístico.

La obtención de los datos se realizó mediante la aplicación de IBM SPSS Statistics versión 29. Inicialmente se realizó análisis descriptivo a partir de frecuencias, porcentajes, medias, desviaciones estándar e intervalos de confianza del 95 %. Posteriormente, se analizaron los supuestos de normalidad a partir de la prueba de Shapiro-Wilk. Considerando el tamaño de la muestra ($n = 420$) la normalidad fue también analizada mediante histogramas, gráficos Q-Q y los valores de asimetría y curtosis, siguiendo las recomendaciones para la investigación con grandes muestras. La homogeneidad de varianzas fue analizada mediante el test de Levene.

A fin de analizar los cambios intragrupo se aplicó la *t* de Student para muestras relacionadas, y para los grupos experimental y control se aplicó la *t* para muestras independientes y un ANCOVA, para controlar las diferencias que había entre grupos en el pretest, que se incluyó como covariable. También se calcularon los tamaños del efecto a partir del estadístico *d* de Cohen, interpretándose el tamaño de efecto 0,20; 0,50 y 0,80 como efectos pequeño, moderados y grandes, respectivamente. El nivel de significancia estadística se estableció en $p < 0,05$.

La investigación se realizó respetando los principios éticos que rigen los estudios en los que participan personas humanas. Todos los estudiantes que participaron lo hicieron de manera voluntaria, con la auto-

rización institucional, el consentimiento informado de los representantes legales y el asentimiento de los participantes. Se garantizó que la información utilizada para la investigación estuviera anonimizando la base de datos utilizada y el empleo de los resultados exclusivamente para fines científicos y académicos. Asimismo, el estudio siguió los principios establecidos en la Declaración de Helsinki y las directrices internacionales para la investigación en educación respecto al respeto por las personas, la beneficencia, la no maleficencia y la justicia.

RESULTADOS

La muestra estuvo compuesta por 420 (n=420) estudiantes de Bachillerato General Unificado distribuidos equitativamente entre el control (n=210) y el experimental (n=210); los participantes provenían de las provincias de Carchi, Galápagos, Morona Santiago, Orellana, Santa Elena y Zamora Chinchipe, cursando primero, segundo o tercero de Bachillerato.

La distribución territorial y académica entre los grupos fue equitativa.

La comparación de las características en la línea base no mostró diferencias estadísticamente significativas según provincia, $\chi^2(5)=0,23$, $p=0,999$; curso, $\chi^2(2)=0,06$, $p=0,972$; sexo, $\chi^2(1)=1,38$, $p=0,241$; zona de ubicación de la institución, $\chi^2(1)=1,01$, $p=0,316$; o tipo de sostenimiento, $\chi^2(2)=2,53$, $p=0,283$. Ni siquiera se encontraron diferencias entre el grupo control y el experimental en edad, $t(418)=0,32$, $p=0,750$; promedio previo en Biología, $t(418)=0,44$, $p=0,661$; o porcentaje de asistencia, $t(418)=0,91$, $p=0,363$, por lo que ambos grupos presentaron condiciones similares a la intervención.

Tabla 1

Características iniciales de los participantes según grupo de estudio

Variable	Categoría o estadístico	Control (n = 210)	Experimental (n = 210)	p
Provincia	Carchi	34 (16,2 %)	36 (17,1 %)	0,999
	Galápagos	35 (16,7 %)	35 (16,7 %)	
	Morona Santiago	36 (17,1 %)	34 (16,2 %)	
	Orellana	36 (17,1 %)	34 (16,2 %)	
	Santa Elena	34 (16,2 %)	36 (17,1 %)	
	Zamora Chinchipe	35 (16,7 %)	35 (16,7 %)	
Curso	Primero BGU	69 (32,9 %)	71 (33,8 %)	0,972
	Segundo BGU	71 (33,8 %)	69 (32,9 %)	
	Tercero BGU	70 (33,3 %)	70 (33,3 %)	
Sexo	Femenino	117 (55,7 %)	104 (49,5 %)	0,241
	Masculino	93 (44,3 %)	106 (50,5 %)	
Zona	Rural	75 (35,7 %)	86 (41,0 %)	0,316
	Urbana	135 (64,3 %)	124 (59,0 %)	
Sostenimiento	Fiscal	131 (62,4 %)	129 (61,4 %)	0,283
	Fiscomisional	43 (20,5 %)	34 (16,2 %)	
	Particular	36 (17,1 %)	47 (22,4 %)	
Edad	Media $\pm$ DE	16,08 $\pm$ 0,98	16,05 $\pm$ 0,85	0,750
Promedio previo de Biología	Media $\pm$ DE	7,72 $\pm$ 0,81	7,68 $\pm$ 0,84	0,661
Asistencia	Media $\pm$ DE	91,12 $\pm$ 5,03	90,68 $\pm$ 5,07	0,363

Nota. Para las variables categóricas se empleó la prueba χ^2 de Pearson; para las variables continuas se utilizó la prueba t de Student para muestras independientes.

En resumen, estos resultados constituyen una evidencias de que no se registraron diferencias iniciales estadísticamente significativas entre los grupos experimental y control, prueba que favorece la comparabilidad basal de la muestra anterior a la intervención y además fortalece la validez interna del diseño cuasiexperimental.

Los dos grupos mostraron incrementos entre el pretest y el posttest, pero las ganancias fueron sistemáticamente superiores en el grupo experimental: el grupo control logró una ganancia media de 0,33 puntos, y el grupo experimental anotará una ganancia media de 0,88 puntos; la diferencia en las ganancias fue de 0,55 puntos, IC 95 % [0,448; 0,652], $t(418) = 10,62$, $p < 0,001$, con un tamaño del efecto grande, $d = 1,04$.

Las diferencias más pronunciadas entre grupos se observaron en diseño experimental, cuyas ganancia media fue de 0,31 puntos en el grupo control y de 0,89 puntos en el grupo experimental, diferencia = 0,58, IC 95 % [0,475; 0,685], $t(418) = 10,89$, $p < 0,001$, $d = 1,06$. Se detectaron efectos grandes en argumentación científica, comprensión conceptual, interpretación de datos, resolución de problemas biológicos y dominio del método científico. En todas las dimensiones, los intervalos de confianza no incluían el cero y los tamaños del efecto se encontraban entre 0,95 y 1,08, lo que pone de manifiesto el hecho de una mejora educativa de

gran relevancia, además, estadísticamente consistente.

Tabla 2

Comparación de las ganancias pretest-posttest entre el grupo control y el grupo experimental

Dimensión	Ganancia control, M ± DE	Ganancia experimental, M ± DE	Diferencia media	IC 95 %	t(418)	p	d de Cohen
Comprensión conceptual	0,34 ± 0,49	0,86 ± 0,56	0,52	[0,419; 0,621]	10,13	<0,001	0,99
Método científico	0,32 ± 0,50	0,82 ± 0,55	0,50	[0,399; 0,601]	9,75	<0,001	0,95
Diseño experimental	0,31 ± 0,52	0,89 ± 0,57	0,58	[0,475; 0,685]	10,89	<0,001	1,06
Interpretación de datos	0,33 ± 0,50	0,85 ± 0,56	0,52	[0,418; 0,622]	10,04	<0,001	0,98
Resolución de problemas biológicos	0,35 ± 0,51	0,88 ± 0,58	0,53	[0,425; 0,635]	9,94	<0,001	0,97
Argumentación científica	0,30 ± 0,49	0,86 ± 0,55	0,56	[0,460; 0,660]	11,02	<0,001	1,08
Competencia científica global	0,33 ± 0,50	0,88 ± 0,56	0,55	[0,448; 0,652]	10,62	<0,001	1,04

Nota. Las ganancias se obtuvieron restando las condiciones pretest a los posttest; los valores positivos reflejan un aumento en el pretest, obteniéndose por tanto un mejor resultado en los posttest. La prueba t extrajo los niveles de ganancias para ambas condiciones. Los tamaños del efecto fueron obtenidos a partir de la desviación estándar combinada. A tenor de los criterios habituales, los efectos que fueron calculados se caracterizaban por ser extensos, aunque advertidos dentro de magnitudes posible para una intervención educativa estructurada.

Los análisis intragrupo corroboraron que el grupo experimental mejoró notablemente en todas las dimensiones analizadas. Comparando la competencia científica global y el pretest frente a los posttest, se obtiene $t(209) = 22,77$, $p < 0,001$, $d_z = 1,57$. El grupo control también mejoró y esta diferencia fue significativa $t(209) = 9,56$, $p < 0,001$, $d_z = 0,66$, aunque con una magnitud mucho menor. El mismo patrón se observó en las seis competencias específicas: ambos grupos mostraron un avance durante el periodo académico, pero la progresión del grupo experimental fue mayor, apoyando el efecto añadido de la intervención basada en indagaciones y laboratorios virtuales.

Con el fin de controlar las diferencias iniciales que podrían existir entre los grupos, se estimaron modelos de análisis de covarianza, considerando la puntuación posttest como variable dependiente, el grupo como factor y la puntuación pretest como covariable. De forma previa se exploró el supuesto de homogeneidad de pendientes mediante la interacción entre el grupo y la puntuación inicial. Esta interacción no fue estadísticamente significativa en ninguna de las dimensiones, y los valores de p oscilaban entre 0,057 y 0,811, adecuándose el ANCOVA. Tras adecuar los perfiles de puntuación del posttest a los de pretest, el grupo experimental se mantuvo por encima del grupo de control en la media de las diversas dimensiones analizadas. En la competencia científica global la media ajustada fue de 6,67 en el grupo experimental y de 6,12 en el grupo control; el efecto del grupo fue significativo radica en el hecho de que, $F(1, 417) = 166,22$, $p < 0,001$, $\eta_p^2 = 0,285$, este dato implica que, una vez ajustado el nivel inicial de competencia científica, pertenecer al grupo de intervención explicaba aproximadamente el 28,5 % de la varianza residual del posttest, lo que se puede traducir en un gran efecto, educativamente relevante.

Los efectos ajustados también fueron significativos en diseño experimental, $\eta_p^2 = 0,232$; argumentación científica, $\eta_p^2 = 0,225$; interpretación de datos, $\eta_p^2 = 0,201$; comprensión conceptual, $\eta_p^2 = 0,198$; resolución de problemas biológicos, $\eta_p^2 = 0,196$; y método científico, $\eta_p^2 = 0,185$, los valores atestiguarían que el efecto de la intervención fue una constante, aunque con una magnitud más alta en las competencias que hacían referencia a la planificación de investigaciones y la formulación de argumentaciones sustentadas en evidencias..

Tabla 3

Resultados del ANCOVA para las puntuaciones posttest ajustadas por el pretest

Dimensión	Media ajustada control (IC 95 %)	Media ajustada experimental (IC 95 %)	F(1, 417)	p	η_p^2 parcial	R^2 del modelo
Comprensión conceptual	6,25 [6,18; 6,32]	6,77 [6,70; 6,84]	102,95	<0,001	0,198	0,548
Método científico	6,20 [6,13; 6,27]	6,70 [6,63; 6,77]	94,66	<0,001	0,185	0,562
Diseño experimental	6,13 [6,06; 6,20]	6,71 [6,64; 6,78]	125,97	<0,001	0,232	0,581
Interpretación de datos	6,09 [6,02; 6,16]	6,61 [6,54; 6,68]	104,90	<0,001	0,201	0,557
Resolución de problemas biológicos	6,06 [5,99; 6,13]	6,59 [6,52; 6,66]	101,66	<0,001	0,196	0,536
Argumentación científica	6,01 [5,94; 6,08]	6,57 [6,50; 6,64]	121,06	<0,001	0,225	0,571
Competencia científica global	6,12 [6,06; 6,18]	6,67 [6,61; 6,73]	166,22	<0,001	0,285	0,624

Nota. Las medias fueron ajustadas utilizando como covariable la puntuación correspondiente del pretest. η_p^2 parcial representa la proporción de varianza residual asociada con el grupo después de controlar el nivel inicial. R^2 expresa la proporción de varianza explicada por el modelo completo.

En resumidas cuentas, los resultados mostraron que el aprendizaje basado en la investigación mediado por laboratorios virtuales se asoció con un progreso superior respecto a la metodología convencional. Esta diferencia se mantuvo después de controlar las puntuaciones iniciales y se mostró consistente en la comprensión conceptual, el método científico, el diseño experimental, la interpretación de los datos, la resolución de problemas biológicos, y la argumentación científica.

El resultado de mayor tamaño se correspondió con la competencia científica global, seguido del diseño experimental y de la argumentación científica. La coincidencia entre el análisis de las ganancias, las comparaciones intragrupos, los intervalos de confianza y los modelos ANCOVA indica la robustez del resultado principal. Los tamaños del efecto fueron grandes, aunque se mantuvieron dentro de los rangos plausibles para una intervención educativa intensiva y estructurada.

DISCUSIÓN

Los resultados muestran que la enseñanza que combinó el aprendizaje por indagación a través de laboratorios virtuales propició un incremento muy superior en las competencias científicas del grupo experimental comparado con el grupo control. Esos diferenciales reflejan una mayor alta en el pretest-posttest como el modelo ANCOVA controlado por las puntuaciones iniciales. El efecto fue estable en comprensión conceptual, método científico, diseño experimental, de interpretación de datos, de resolver problemas biológicos y de argumentar de forma científica. En una perspectiva general, estos resultados avalan el empleo de los procesos mediante los que guiar la indagación junto con la experimentación virtual para promover el aprendizaje de la Biología en el Bachillerato.

La mejora en la comprensión conceptual se corresponde con la evidencia que apunta que los laboratorios virtuales proponen la representación de procesos biológicos difíciles de observar, permiten manipular correctamente las variables en las diferentes etapas de la indagación en el laboratorio y crean oportunidades de replicar los procedimientos de los laboratorios de forma diferente a los laboratorios convencionales. Las características mencionadas pueden contribuir a la construcción de relaciones entre conceptos, fenómenos y evidencias, en especial para contenidos abstractos como la biología celular, genética, microbiología, fisiología (Byukusenge et al., 2022). Del mismo modo, de Jong et al. consideran que los laboratorios virtuales pueden contribuir al aprendizaje conceptual cuando pretenden visualizar la actividad, modificar las condiciones experimentales, obtener retroalimentación durante la actividad (de Jong et al., 2013).

La variable diseño experimental fue la dimensión con mayor distancia intergrupos. Este resultado puede explicarse a partir de los participantes que no se limitaron a exponer contenidos digitales, sino que las sesiones se organizaron en torno a preguntas investigables, hipótesis, selección de variables, ejecución de procedimientos, evaluación de evidencias. El estado del conocimiento muestra que la indagación guiada podría ayudar a que el desarrollo de las habilidades de planificación y de realización de experimentos se profundiza si el estudiante participa activamente pero tiene los apoyos necesarios para que la complejidad de la tarea no produzca desorientación (Chengere et al., 2025a). En este mismo sentido, los metanálisis muestran que los enfoques de indagación tienen efectos positivos en lo relativo a habilidades investigativas y a pensamiento de orden superior, en especial cuando hay orientación del docente (Antonio & Prudente, 2023) (Aripin et al., 2021).

Los desarrollos en la interpretación de datos y en la argumentación científica también son relevantes, dado que son las habilidades más complejas de desarrollar si se comparan con la recuperación de información conceptual. Los entornos virtuales permiten elaborar datos en el momento, comparar condiciones y que los estudiantes revisen sus decisiones experimentales. En el caso de que estas ayudas se acompañen de preguntas, discusión grupal y la comunicación de las conclusiones, la actividad tecnológica se puede convertir en una experiencia de razonamiento científico. Telenius et al. (2020) hallaron un vínculo entre la calidad de la argumentación en entornos virtuales y la capacidad de los estudiantes para plantear preguntas, fundamentar evidencias y justificar conclusiones en las diferentes fases de la indagación. Aún así, Pietarinen et al. (2018) afirman que la colaboración en grupo y la seguridad percibida por el grupo pueden favorecer la participación y comprensión durante la indagación virtual.

El grupo control también mostró mejoras, aunque mucho menos acusadas; este incremento podría guardar

relación con el aprendizaje obtenido a través de las clases de Biología, la exposición continuada del grupo a contenidos de Biología por sus clases anteriores o bien con la familiaridad con el instrumento de evaluación que se despliega entre cualquier medida realizada. Por lo tanto, los resultados no indican que el aprendizaje sólo se produjese en el grupo experimental, sino que la metodología de indagación en laboratorios virtuales supuso un aprendizaje adicional respecto a la enseñanza tradicional. Este patrón concuerda con estudios cuasiexperimentales previos que reportan mejores resultados de aprendizaje de los estudiantes a los que se les ha expuesto a las prácticas de investigación en contraposición a aquellos a los que se les ha dirigido la mayor parte de la enseñanza a través de aula (Lee et al., 2017).

Los resultados obtenidos no deben ser interpretados como evidencia de la sustitución completa de un tipo de laboratorios por otro tipo, puesto que la evidencia en este sentido es contradictoria. Las investigaciones comparativas del tipo A vs. B sobre este tema indican que la práctica A y la práctica B aportan diferentes beneficios a los estudiantes. Los ambientes virtuales favorecen prácticas con las que se mejora la visualización, la repetición y la comprensión conceptual, mientras que los ambientes físicos se asocian a experiencias sensoriales, aprendizajes instrumentales y desarrollo de habilidades procedimentales (Mulwijk & Lazonder, 2023) (Aktaş & Karamustafaoğlu, 2024). Esto nos lleva a concluir que la implicación pedagógica más sensata sería hacer uso de los laboratorios virtuales como complemento de las experiencias en los laboratorios físicos, particularmente en aquellas circunstancias donde la infraestructura, la disponibilidad de materiales o las condiciones de seguridad para experimentar son limitadas. Esta implicación también es relevante en sistemas educativos donde la disponibilidad de laboratorios físicos es escasa o se presenta de forma desigual entre instituciones. La combinación sistemática de las dos presentadas puede dar lugar a resultados mejores que el empleo aislado de una alternativa (Wörner et al., 2022).

Los tamaños del efecto encontrados se situaron entre 0,95 y 1,08 en las comparaciones de las ganancias; los valores de η^2_{parcial} de los modelos ajustados variaron entre 0,185 y 0,285. Estas magnitudes reflejan efectos grandes y educativamente relevantes, pero carecen de indicar que la intervención explique su totalidad del aprendizaje alcanzado. Los resultados pueden justificarse a partir de la articulación de la indagación guiada y la experimentación virtual, la retroalimentación inmediata y la secuenciación de las actividades. Sin embargo, la magnitud debe ser interpretada considerando la duración de la intervención, la proporción de actividades competitivas y las competencias evaluadas y por último teniendo en cuenta las particulares características de la muestra y del contexto institucional. El trabajo presenta también limitaciones vinculadas al diseño cuasiexperimental. Para empezar, la asignación por aulas intactas anula el control sobre las variables institucionales, docentes y contextuales. Segundo, la utilización del mismo instrumento didáctico en el pretest y el posttest puede resultar en un efecto de familiaridad con la prueba. Por último, la intervención se desarrolló a lo largo de 8 semanas, lo que no permite valorar si la intervención genera aprendizajes que se mantengan a mediano o largo plazo. Si bien podemos argüir que la inclusión de seis provincias contribuye a la diversidad territorial de la intervención, la generalización al conjunto del sistema educativo ecuatoriano ha de hacerse con prudencia. Las futuras investigaciones computarán mediciones de seguimiento, modelos multinivel que aborden la agrupación de los estudiantes por aula e institución, análisis de fidelidad de implementación, así como comparaciones entre indagación virtual, laboratorio físico y combinaciones. También sería conveniente investigar si los efectos se manifiestan o no de un modo diferente en función de la zona, el acceso a internet, la experiencia tecnológica previa, el nivel de Bachillerato que dicta cada profesor o bien el tipo de sostenimiento institucional. En síntesis, la evidencia obtenida señala que una intervención estructurada y con indagación guiada y laboratorios virtuales, puede fortalecer de forma integral las competencias científicas en Biología. La razón no es sólo digitalizar la experimentación, sino convertir la tecnología en un lugar donde preguntar, contrastar, analizar evidencias o bien construir explicaciones científicas.

CONCLUSIONES

Los resultados de este estudio demostraron que el aprendizaje basado en la indagación mediado por laboratorios virtuales podía ser una adecuada estrategia educativa para potenciar las competencias científicas de los estudiantes de Biología de Bachillerato. Los análisis mostraron diferencias significativas y positivamente importantes entre el grupo experimental y el grupo control para la competencia científica y sus dimensiones como comprensión conceptual, aplicación del método científico, diseño experimental, interpretación de los

datos, resolución de problemas biológicos, argumentación científica, y construcciones argumentativas. La concordancia de los resultados obtenidos con métodos de análisis descriptivos, pruebas de comparación y con los modelos ajustados confirmaron que la intervención que llevó a cabo los cambios favorables en que el alumnado desarrollase su competencia científica y también la necesidad del cumplimiento del objetivo general de la investigación.

Además del incremento de las puntuaciones, los resultados indican que el aprendizaje del desarrollo de las competencias científicas depende más de la calidad del diseño de la secuencia didáctica que del uso de los recursos tecnológicos. En este sentido, los laboratorios virtuales demostraron ser efectivos cuando fueron utilizados dentro de la secuencia didáctica basada en la indagación, en la que el alumnado se involucró activamente elaborando preguntas de investigación, formulando hipótesis, diseñando procedimientos experimentales, analizando evidencias y construyendo explicaciones basadas en los datos. Es por ello que la tecnología actuó como un medio para facilitar el aprendizaje científico, y no como un fin en sí mismo, algo que se alinea con las tendencias actuales de la didáctica de las ciencias.

La investigación proporciona evidencia empírica importante para el contexto educativo ecuatoriano caracterizado por una gran diversidad geográfica e institucional y por diferencias en el acceso a infraestructuras para realizar experimentos. En este contexto, los laboratorios virtuales constituyen una alternativa real que permite ampliar las oportunidades de aprendizaje práctico, minorar las limitaciones que presentan la disponibilidad de equipamiento y de materiales especializados y favorecer experiencias experimentales en instituciones donde los laboratorios físicos tienen poca disponibilidad y/o restricciones en su uso. En esta línea, los resultados refuerzan la evidencia que demuestra el potencial de las tecnologías digitales para ayudar a la enseñanza de la Biología con enfoques activos centrados en la construcción del conocimiento.

Por otro lado, los resultados están sujetos a una particular interpretación condicionada por las características del diseño cuasiexperimental. Si bien contar con grupos control y experimental de estudio ha sido favorable a la estimación del efecto de la intervención con un adecuado nivel de firmeza metódica, la asignación a grupos naturales limita el control de todas las variables externas que pueden influir en el proceso de aprendizaje. Por otra parte, la propia duración de la intervención permite establecer mejoras en la adquisición de competencias, pero no nos asegura si la mejora se mantiene a largo plazo. Así, futuras investigaciones deberían incorporar evaluaciones de seguimiento para valorar la estabilidad y permanencia de las competencias científicas ejecutadas.

De la misma manera, la magnitud de los efectos observados también es un elemento significativo que apoya la consideración de la intervención como eficaz, no obstante esta, deben ser futuras investigaciones las que permitan comprobar su estabilidad en diferentes contextos educativos y poblaciones. Estudios de investigación posteriores podrían plantear diseños experimentales aleatorizados en las condiciones institucionales lo permitan, alternativas de análisis de tipo multinivel que introduzcan las características de los profesores y de las instituciones educativas, pero también comparaciones entre laboratorios físicos, laboratorios virtuales y laboratorios híbridos. También sería interesante estudiar variables adicionales como la competencia digital del profesor, la motivación, la autorregulación del aprendizaje o la alfabetización científica con el objetivo de conocer de una manera más holística las características que forman parte de las competencias científicas.

En términos prácticos, los resultados obtenidos justifican que el aprendizaje basado en la indagación y los laboratorios virtuales sean incorporados de manera no contingente en la planificación curricular de Biología del Bachillerato. Sin embargo, su implementación tendrá que ir acompañada de procesos de formación del profesorado, disponibilidad de recursos tecnológicos adecuados y propuestas didácticas estructuradas que promuevan la experimentación, el pensamiento crítico, la argumentación científico, la resolución de problemas reales. Solo así la enseñanza de esta disciplina podría ser transformada en una enseñanza que genere una experiencia de aprendizaje significativa orientada a la formación de personas científicamente competentes, capaces de comprender, analizar y actuar de forma responsable ante los retos científicos, tecnológicos y ambientales de la sociedad actual. En otras palabras, los resultados de esta investigación avalan una progresiva introducción del aprendizaje basado en la indagación apoyada por laboratorios virtuales en el ámbito de las políticas de innovación pedagógica para la enseñanza de la Biología del Bachillerato

ecuatoriano.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no existe conflicto de interés.

REFERENCIAS

- Acosta Porras, J. S., Moyon Sani, V. E., Arias Vega, G. Y., Vásquez Alejandro, L. M., Ruiz Cires, O. A., Albia Vélez, B. K., & Bernal Parraga, A. P. (2024). Estrategias de Aprendizaje Activas en la Enseñanza en la Asignatura de Estudios Sociales. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 8(5), 411-433. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i5.13320
- Agustin, M., Zubaidah, S., Susanto, H., Habiddin, H., & Bilad, M. R. (2024). Challenges in designing and developing a virtual biology laboratory: A systematic literature review. *Multidisciplinary Reviews*. <https://doi.org/10.31893/multirev.2025116>
- Alarcon Burneo, S. N., Basantes Guerra, J. P., Chaglla Lasluisa, W. F., Carvajal Coronado, D. E., Martínez Oviedo, M. Y., Vargas Saritama, M. E., & Bernal Parraga, A. P. (2024). Uso de Recursos Manipulativos para Mejorar la Comprensión de Conceptos Matemáticos Abstractos en la Educación Secundaria. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 8(5), 1972-1988. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i5.13669
- Albán Pazmiño, E. J., Bernal Parraga, A. P., Suarez Cobos, C. A., Samaniego López, L. G., Ferigra Anangono, E. J., Moreira Ortega, S. L., & Moreira Velez, K. L. (2024). Potenciando Habilidades Sociales a Través de Actividades Deportivas: Un Enfoque Innovador en la Educación. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 8(4), 3016-3038. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i4.12549
- Alvarez Piza, R. A., Del Hierro Pérez, M. C., Vera Molina, R. M., Moran Piguave, G. D., Pareja Mancilla, S. S., Narváez Hoyos, J. J., & Bernal Parraga, A. P. (2024). Desarrollo del Pensamiento Lógico a través de la Resolución de Problemas en Matemáticas Estrategias Eficaces para la Educación Básica. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 8(5), 2212-2229. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i5.13686
- Alvarez Piza, R. A., Del Hierro Pérez, M. C., Vera Molina, R. M., Moran Piguave, G. D., Pareja Mancilla, S. S., Narváez Hoyos, J. J., & Bernal Parraga, A. P. (2024). Desarrollo del razonamiento en educación básica mediante aprendizaje basado en problemas y lecciones aprendidas de proyectos matemáticos previos. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 8(5), 13998-14014. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i5.14912
- Antonio, R. P., & Prudente, M. S. (2023). Effects of inquiry-based approaches on students' higher-order thinking skills in science: A meta-analysis. *International Journal of Education in Mathematics, Science and Technology*, 11. <https://doi.org/10.46328/ijemst.3216>
- Aráuz Cerezo, E., Tuarez Cobeña, M., Bernal Parraga, A., Yépez Yépez, L., & Loor Quintero, J. (2026). Efecto del aprendizaje cooperativo en el desarrollo de habilidades técnico-tácticas y la motivación en estudiantes de Educación Física durante la enseñanza del baloncesto en secundaria. *Polo del Conocimiento*, 11(4), 2266-2283. doi:<https://doi.org/10.23857/pc.v11i4.11541>
- Aripin, I., Rustaman, N. Y., & Riandi, R. (2021). The effectiveness of science learning research skills: A meta-analysis study. *Scientiae Educatia*, 10(1). <https://doi.org/10.24235/sc.educatia.v10i1.8486>
- Byukusenge, C., Nsanganwimana, F., & Tarmo, A. P. (2022). Effectiveness of virtual laboratories in teaching and learning biology: A review of literature. *International Journal of Learning, Teaching and Educational Research*, 21(6), 1–17. <https://doi.org/10.26803/ijlter.21.6.1>
- Chengere, A. M., Bono, B., Zinabu, S., & Jilo, K. W. (2025a). Enhancing secondary school students' science process skills through guided inquiry-based laboratory activities in biology. *PLOS ONE*, 20, Article e0320692. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0320692>
- Chengere, A. M., Bono, B., Zinabu, S., & Jilo, K. W. (2025b). Impact of guided inquiry-based laboratory experiments on secondary school students' attitudes toward biology in Ethiopia: A quasi-experimental study. *PLOS ONE*, 20. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0326278>
- Chicaiza, V. (2025). Inteligencia artificial y aprendizaje de idiomas: Personalización del aula de inglés a través de plataformas adaptativas. *Revista Veritas de Difusão Científica*, 6(2), 477–506. <https://revistaveritas.org/index.php/veritas/article/view/643>
- Coenders, F., Gomes, N., Sayegh, R., Kinyanjui, I., Noutahi, A., & Madu, N. (2020). Class experiences with inquiry learning spaces in Go-Lab in African secondary schools. *African Journal of Teacher Education*, 9(2). <https://doi.org/10.21083/ajote.v9i2.6270>
- Constantinou, C. P., Tsivitanidou, O. E., & Rybska, E. (2018). What is inquiry-based science teaching and learning? En O. E. Tsivitanidou, P. Gray, E. Rybska, L. Louca, & C. P. Constantinou (Eds.), *Professional Development for Inquiry-Based Science Teaching and Learning (Contributions from Science Education Research, Vol. 5, pp. 1–23)*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-91406-0_1

- Cunningham, S. C., McNear, B., Pearlman, R. S., & Kern, S. E. (2006). Beverage-agarose gel electrophoresis: An inquiry-based laboratory exercise with virtual adaptation. *CBE—Life Sciences Education*, 5(3), 281–286. <https://doi.org/10.1187/cbe.06-01-0139>
- de Jong, T., Linn, M. C., & Zacharia, Z. C. (2013). Physical and virtual laboratories in science and engineering education. *Science*, 340(6130), 305–308. <https://doi.org/10.1126/science.1230579>
- Fajardo Lopez , C. E., Yagual Cedeño, L. L., Quezada Sanchez, C. F., Toapanta Guanoquiza, M. J., Moreira Velez, K. L., Sandra Veronica, L. P., & Bernal Parraga , A. P. (2024). El Papel de los Padres en la Educación Inicial": Estrategias Innovadoras para la Participación Familiar. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 8(4), 9881-9900. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i4.13139
- Hurtado-Bermúdez, S., & Romero-Abrio, A. (2020). The effects of combining virtual laboratory and advanced technology research laboratory on university students' conceptual understanding of electron microscopy. *Interactive Learning Environments*, 31(2), 1126–1141. <https://doi.org/10.1080/10494820.2020.1821716>
- Husnaini, S. J., & Chen, S. (2019). Effects of guided inquiry virtual and physical laboratories on conceptual understanding, inquiry performance, scientific inquiry self-efficacy, and enjoyment. *Physical Review Physics Education Research*, 15(1), Article 010119. <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.15.010119>
- Jara Chiriboga , S. P., Troncoso Burgos, A. L., Ruiz Avila, M. M., Cosquillo Chida, J. L., Aldas Macias, K. J., Castro Morante, Y. E., & Bernal Párraga, A. P. (2025). Inteligencia Artificial y Aprendizaje Personalizado en Lenguas Extranjeras: Un Análisis de los Chatbots y los Asistentes Virtuales en Educación. *Revista Científica De Salud Y Desarrollo Humano* , 6(1), 882–905. <https://doi.org/10.61368/r.s.d.h.v6i1.515>
- Lai, T. L., Lin, Y., Chou, C. Y., & Yueh, H. P. (2021). Evaluation of an inquiry-based virtual lab for junior high school science classes. *Journal of Educational Computing Research*, 59(8), 1579–1600. <https://doi.org/10.1177/07356331211001579>
- Lima, J. S., Molina-Granja, F., Lozada-Yanez, R., Velasco, D., Peñafiel, G. A., & Castelo, L. P. (2021, July). The importance of the digital preservation of data and its application in universities. In *International Conference on Knowledge Management in Organizations* (pp. 345-353). Cham: Springer International Publishing.
- Mafarja, N., Zulnaidi, H., & Mohamad, M. M. (2025). Virtual learning environment to improve scientific literacy: A systematic review. *Research in Science & Technological Education*. <https://doi.org/10.1080/02635143.2025.2547927>
- Mena Castillo, M. L., Iza Maigua, A. C., Bernal Parraga, A. P., & Lalangui Sandoval, J. A. (2026). Neurociencia de la lectura e inteligencia artificial: comparación del método fonológico y global en estudiantes con dislexia temprana. *Tesla Revista Científica*, 6(2), e696. <https://doi.org/10.55204/trc.v6i2.e695>
- Moposita, D. A. M., Lima, J. C. S., & Paredes, C. R. L. (2021). Huertos urbanos: como estrategia de transición hacia el desarrollo urbano sostenible. *Dominio de las Ciencias*, 7(6), 1166-1181.
- Muilwijk, S. E., & Lazonder, A. W. (2023). Learning from physical and virtual investigation: A meta-analysis of conceptual knowledge acquisition. *Frontiers in Education*, 8, Article 1163024. <https://doi.org/10.3389/educ.2023.1163024>
- Orden Guaman , C. R., Salinas Rivera, I. K., Paredes Montesdeoca, D. G., Fernandez Garcia, D. M., Silva Carrillo, A. G., Bonete Leon, C. L., & Bernal Parraga, A. P. (2024). Gamificación versus Otras Estrategias Pedagógicas: Un Análisis Comparativo de su Efectividad en el Aprendizaje y la Motivación de Estudiantes de Educación Básica. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 8(4), 9939-9957. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i4.13142
- Papalazarou, N., Lefkos, I., & Fachantidis, N. (2023). The effect of physical and virtual inquiry-based experiments on students' attitudes and learning. *Journal of Science Education and Technology*, 33, 349–364. <https://doi.org/10.1007/s10956-023-10088-3>
- Pietarinen, T., Vauras, M., Laakkonen, E., Kinnunen, R., & Volet, S. (2018). High school students' perceptions of affect and collaboration during virtual science inquiry learning. *Journal of Computer Assisted Learning*. <https://doi.org/10.1111/jcal.12334>
- Quiroz Moreira, M. I., Mecias Cordova, V. Y., Proaño Lozada, L. A., Hernández Centeno, J. A., Chóez Acosta, L. A., Morales Contreras, A. M., & Bernal Parraga , A. P. (2024). Plataformas de Evaluación Digital: Herramientas para Optimizar el Feedback y Potenciar el Aprendizaje. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 8(5), 2020-2036. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i5.13673
- Reyes, R. L., Isleta, K. P., Regala, J., & Bialba, D. M. R. (2024). Enhancing experiential science learning with virtual labs: A narrative account of merits, challenges, and implementation strategies. *Journal of Computer Assisted Learning*, 40, 3167–3186. <https://doi.org/10.1111/jcal.13061>
- Rodríguez López, E. M., Bernal Parraga, A. P., Cuero González, O. V., Gavilanez González, L. C., & Merchán Ortiz, S. T. (2026). Gamification-Based Learning in EFL Classrooms: Effects on Motivation and Communicative Competence in Secondary Education. *Prometeo Conocimiento Científico*, 6(1), e125. <https://doi.org/10.55204/pcc.v6i1.e125>
- Santillán Lima, J. C. (2013). Diseño de una infraestructura de telecomunicaciones que optimice el acceso a los servicios para el creciente tráfico de datos del campus la dolorosa de la Universidad Nacional de Chimborazo.
- Santillán Lima, J. C., Llanga Vargas, A., Mayorga, W., & Valdiviezo, S. (2016). Evaluación del requerimiento tecnológico para

- servicios educativos, propuesta de infraestructura de red inalámbrica del Campus La Dolorosa de la Universidad Nacional de Chimborazo. II Congreso Internacional Educación Contemporánea, Calidad Educativa y Buen Vivir. In II Congreso Internacional Educación Contemporánea, Calidad Educativa y Buen Vivir.
- Santillán-Lima, J. C., Rocha-Jacome, C., Guerrero-Morejón, K., Llanga-Vargas, A., Vásconez-Barrera, F., & Molina-Granja, F. (2017). El impacto de los servicios de telecomunicaciones y las TICs en las necesidades de la educación superior. IV Congreso Internacional de Ciencia Tecnología Innovación y Emprendimiento CITE.
- Serrano-Pérez, J. J., González-García, L., Flacco, N., Taberner-Cortés, A., García-Arnandis, I., Pérez-López, G., Pellín-Carcelén, A., & Romá-Mateo, C. (2021). Traditional vs. virtual laboratories in health sciences education. *Journal of Biological Education*, 57(1), 36–50. <https://doi.org/10.1080/00219266.2021.1877776>
- Telenius, M., Yli-Panula, E., Vesterinen, V. M., & Vauras, M. (2020). Argumentation within upper secondary school student groups during virtual science learning: Quality and quantity of spoken argumentation. *Education Sciences*, 10(12), Article 393. <https://doi.org/10.3390/educsci10120393>
- Tello Mayorga, L. E., Bowen Castro, D. J., Rosero Ubidia, A. M., Rea Elizalde, C. A., & Bernal Parraga, A. P. (2025). El papel del orientador educativo en la prevención del acoso escolar modelos de intervención basados en evidencia. *ASCE*, 4(3), 1089–1115. <https://doi.org/10.70577/ASCE/1089.1115/2025>
- Torres Illescas, V., Villacrés Prieto, P., Román Cabrera, J., Bernal Párraga, A. (2024). Charting the Path of Reading Development: A Study on the Importance and Effective Strategies for Reading in Early Ages Based on Technology. In: Gervasi, O., Murgante, B., Garau, C., Taniar, D., C. Rocha, A.M.A., Faginas Lago, M.N. (eds) *Computational Science and Its Applications – ICCSA 2024 Workshops. ICCSA 2024. Lecture Notes in Computer Science*, vol 14820. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-65285-1_2
- Troya Santillán, C. M., Bernal Párraga, A. P., Guaman Santillán, R. Y., Guzmán Quiña, M. de los A., & Castillo Álvarez, M. A. (2024). Formación docente en el uso de herramientas tecnológicas para el apoyo a las necesidades educativas especiales en el aula. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 8(3), 3768–3797. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i3.11588
- Troya, B. N., Arzube, M. C., Arzube, D. M., Troya, C. M., Martínez, M. Y., Zapata, Y. F. y Bernal, A. P. (2024). Liderazgo Educativo Transformacional: Estrategias para Inspirar y Motivar a los Docentes en el Contexto Escolar. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 8(5), 2230-2246. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i5.13687
- Villacreses Sarzoza, E. G., Nancy Maribel, M. C., Calderón Quezada, J. E., Víctor Gregory, T. V., Iza Chungandro, M. F., Tandazo Sarango, F. E., & Bernal Párraga, A. P. (2025). Inteligencia artificial: Transformando la escritura académica y creativa en la era del aprendizaje significativo. *Revista Científica de Salud y Desarrollo Humano*, 6(1), 1427–1451. <https://doi.org/10.61368/r.s.d.h.v6i1.533>
- Wörner, S., Kuhn, J., & Scheiter, K. (2022). The best of two worlds: A systematic review on combining real and virtual experiments in science education. *Review of Educational Research*, 92(6), 911–952. <https://doi.org/10.3102/00346543221079417>
- Yuale Chingo, M. B., Suarez Cobos, C. A., Dias Pilatasig, M. J., Olalla Faz, M. I., Zamora Batioja, I. J., Arequipa Molina, A. D., & Bernal Párraga, A. P. (2024). Análisis del Impacto de Estrategias de Inclusión en el Aprendizaje de Niños con Capacidades Especiales. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 8(4), 5408-5425. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i4.12757
- Zambrano Vergara, B. J., Bernal Párraga, A. P., Nivela Cedeño, A. N., Garcia Jimenez, D. I., Guevara Guevara, N. P., & Bravo Alcívar, G. M. (2024). Estrategias de Gestión de Aula para Fomentar el Aprendizaje Autónomo en la Educación Inicial. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 8(3), 5379-5406. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i3.11745
- Zamora Franco, A. F., Bernal Párraga, A. P., Garcia Paredes, E. B., Herrera Lemus, L. P., Camacho Torres, V. L., Simancas Malla, F. M., & Haro Cedeño, E. L. (2024). Estrategias para Fomentar la Colaboración en el Aula de Matemáticas. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 8(4), 616-639. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i4.12310