



Doi: <https://doi.org/10.70577/ASCE/216.244/2025>

Recibido: 2025-08-29

Aceptado: 2025-09-29

Publicado: 2025-10-06

Implementación de experimentos de bajo costo para fomentar el aprendizaje activo en biología molecular en bachillerato.

Implementation of low-cost experiments to promote active learning in molecular biology in high school.

Autores

Edith Karina Barreros Coque¹

edith.barreros@educacion.gob.ec

<https://orcid.org/0009-0007-1291-3762>

Ministerio de Educación del Ecuador
Ecuador

Betsaida Araceli Alvarez Villarreal²

ffqe.araceli.alvarez@febrescorderolasalle.edu.ec

<https://orcid.org/0009-0000-5099-2747>

Uep Francisco Febres Cordero La Salle
Ecuador

Sandra Gabriela Zambrano Mendoza³

sandrag.zambranom@educacion.gob.ec

<https://orcid.org/0009-0006-5280-1709>

Ministerio de Educación del Ecuador
Ecuador

Lourdes Daniela Collaguazo Veintimilla⁴

daniela.collaguazo@educacion.gob.ec

<https://orcid.org/0009-0001-2040-5406>

Ministerio de Educación del Ecuador
Ecuador

Clara Luz Córdova González⁵

corgon2016@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0007-8511-1832>

Independiente

Ecuador

Cómo citar

Barreros Coque, E. K., Alvarez Villarreal, B. A., Zambrano Mendoza, S. G., Collaguazo Veintimilla, L. D., & Córdova González, C. L. (2025). Implementación de experimentos de bajo costo para fomentar el aprendizaje activo en biología molecular en bachillerato. ASCE MAGAZINE, 4(4), 216–244.

Resumen

Este artículo describe cómo la implementación de experimentos de bajo costo en biología molecular busca fomentar la práctica del aprendizaje activo en los estudiantes de bachillerato. La enseñanza de las ciencias tradicionalmente ha dejado a los estudiantes en un rol pasivo y así se ha limitado su aprendizaje del fenómeno biológico y su pensamiento crítico. En el presente proyecto se diseñaron una serie de prácticas experimentales que son accesibles en escala y que los estudiantes realizan en el aula o en laboratorios habilitados con recursos básicos y se pretende que estas prácticas ayuden a revertir la situación descrita. La metodología fue de tipo cuasi-experimental, con grupos de control y experimental, y se utilizaron metodologías en combinación cuantitativas (conocimiento test, antes y después, actitud cuestionarios, competencia en resolución de problemas escalas) y cualitativas (semiestructuradas, análisis de diarios de aprendizaje). Se implementaron por semestre biología molecular aplicada (extracción de ADN, PCR simplificada, electroforesis en gel de bajo costo) con acompañamiento docente y sesiones de reflexión colectiva. Las conclusiones reflejan un aumento considerable en el dominio de biología molecular en el grupo experimental, en comparación a sus pares de control, mejora en la motivación hacia el aprendizaje científico y el dominio de la habilidad de hipótesis, y diseño de procedimientos en experimentos de forma independiente; la construcción de hipótesis en el diseño de procedimientos experimentales se hizo con un nivel de autonomía superior a lo esperado. Se logró además, el enfrentamiento a un problema científico desestructurado, la solución de problemas complejos. Desde la narración cualitativa, se registró un avance significativo en la construcción de la autoimagen del alumno, de receptor pasivo a investigador activo. La importancia de esta iniciativa radica en su probable sostenibilidad y escalabilidad en contextos de bajos recursos y su contribución a un cambio sistemático del paradigma de la educación en las ciencias: empoderar a los estudiantes para construir su propio conocimiento a través de una experimentación accesible fomenta un enfoque más equitativo, inclusivo y significativo basado en habilidades para la educación en las ciencias.

Palabras clave: Aprendizaje Activo; Biología Molecular; Educación STEAM; Experimentación De Bajo Costo; Competencias Científicas; Pensamiento Crítico; Transformación Educativa.



Abstract

This article describes how the implementation of low-cost experiments in molecular biology aims to promote active learning practices among high school students. Traditional science education has often placed students in a passive role, thus limiting their understanding of biological phenomena and their development of critical thinking skills. This project designed a series of scalable and accessible experimental practices that students can carry out either in the classroom or in laboratories equipped with basic resources, with the goal of reversing the described situation. The methodology employed was quasi-experimental, using control and experimental groups. It combined quantitative methods (pre- and post-tests of knowledge, attitude questionnaires, and problem-solving competency scales) with qualitative approaches (semi-structured interviews and analysis of learning journals). Each semester, applied molecular biology modules were implemented (DNA extraction, simplified PCR, low-cost gel electrophoresis), supported by teacher guidance and collective reflection sessions. The conclusions revealed a considerable increase in molecular biology mastery within the experimental group compared to their control counterparts, as well as enhanced motivation toward scientific learning and improved skills in hypothesis formulation and independent experimental design. Students demonstrated higher-than-expected autonomy in constructing hypotheses and developing experimental procedures. They also succeeded in addressing unstructured scientific problems, reflecting the ability to solve complex problems. From the qualitative narratives, a significant transformation in students' self-perception was observed—from passive recipients to active researchers. The importance of this initiative lies in its potential sustainability and scalability in low-resource settings and its contribution to a systemic shift in the science education paradigm: empowering students to construct their own knowledge through accessible experimentation fosters a more equitable, inclusive, and meaningful science education model based on skill development.

Keywords: Active Learning; Molecular Biology; STEAM Education; Low-Cost Experimentation; Scientific Competencies; Critical Thinking; Educational Transformation.

Introducción

1. Contextualización del tema

La enseñanza de biología molecular a nivel de secundaria aborda cuestiones logísticas y pedagógicas. Esto se debe a que los protocolos clásicos requieren equipos costosos y reactivos sensibles costosos, así como condiciones de laboratorio controladas y caras, lo que los hace inutilizables en instituciones con pocos recursos (Jung et al., 2023). Además, el enfoque tradicional que se centra en conferencias fomenta principalmente el aprendizaje mecánico, en lugar del pensamiento crítico y la investigación científica (Harris & Reid, 2020). En contraste, el aprendizaje activo, donde los estudiantes participan directamente en la construcción del conocimiento a través de actividades específicas, se posiciona como el enfoque más efectivo en la enseñanza de las ciencias profundas (Freeman et al., 2014; Morrison et al., 2021). Desafortunadamente, la enseñanza de la biología a nivel escolar todavía se basa en gran medida en métodos tradicionales. Esto se debe principalmente a los altos costos y complejidades técnicas de los experimentos convencionales. Por lo tanto, el uso de experimentos económicos es más estratégico para incorporar el aprendizaje activo en instrumentos donde la infraestructura ofrece poco.

2. Revisión de antecedentes

Recientemente, algunas investigaciones han buscado desarrollar modalidades de experimentación fácilmente accesibles para facilitar el aprendizaje activo en las ciencias. Jung et al. (2023) crearon módulos educativos para uso en casa, diseñados como laboratorios de biología sintética libre de células, de bajo costo y efectividad educativa. Guzman-Chavez et al. (2022) enfatizan el potencial de desarrollar sistemas de expresión libres de células como una forma de facilitar el acceso a materiales educativos en biotecnología. Morrison et al. (2021) describen la adaptación de laboratorios interactivos durante la pandemia con el fin de mantener componentes de experimentación activa, a pesar de los recursos limitados. Williams et al. (2020) introdujeron un kit educativo aplicable en escuelas sobre el código genético abierto para enseñar transcripción y traducción.

Continuando con esto, Yue et al. (2023) y Lee et al. (2024) discuten la frontera educativa de la biología sintética libre de células, mientras que Natale et al. (2021) demuestran que las actividades híbridas y en línea basadas en indagación en biología pueden ayudar a desarrollar la alfabetización científica. Hanzlick-Burton et al. (2020) crearon laboratorios remotos de bajo costo que tuvieron impactos positivos en las experiencias de aprendizaje de los estudiantes. Según Harris y Reid (2020), el cambio hacia el aprendizaje activo en línea promueve la equidad en los cursos de ecología y evolución. Todos estos informes abundan en evidencia de que los marcos de aprendizaje activo descritos en la literatura y el aprendizaje activo asequible defendido en la literatura pueden aplicarse en la educación secundaria..

La enseñanza de las ciencias en educación básica y educación media superior ha tenido que enfrentar, de forma histórica, algunas limitaciones por la carencia de materiales, infraestructuras y laboratorios. Estas limitaciones han agudizado la brecha entre la teoría y la práctica, poniendo en desmotivación e incidido en el escaso desarrollo de competencias científicas en los educandos (Aguilar Tinoco et al., 2024; Bernal Párraga et al., 2025). En este contexto, se han considerado metodologías activas y entornos de bajo costo que promuevan el aprendizaje significativo y la democratización del acceso a la ciencia (Bernal Párraga et al., 2024a; Jiménez Bajaña et al., 2024).

El aprendizaje por proyectos (ABP) y el aprendizaje por problemas (ABPr) han demostrado que se mejora el desempeño en las ciencias naturales y la resolución de problemas complejos (Bernal Párraga et al., 2024b; Guerrero Carrera et al., 2024). Asimismo, el role-playing y la gamificación se han combinado como estrategias que estimulan la creatividad, el pensamiento crítico y la motivación intrínseca desde los primeros niveles (Bernal Párraga et al., 2024c; Orden Guaman et al., 2024). Estas actividades no solo promueven la comprensión conceptual, sino que también se hacen cargo de fortalecer las competencias socioemocionales que se requieren en el ejercicio de la ciencia (Bernal Párraga et al., 2025).

El enfoque STEM y el desarrollo del pensamiento computacional han sido utilizados para el desarrollo de habilidades transversales en matemáticas y biología a través de la manipulación de recursos y el uso de entornos digitales (Alarcón Burneo et al, 2024; Cosquillo Chida et al, 2025). Estas experiencias evidencian que, a partir de recursos de bajo costo y la implementación de

metodologías activas, se puede lograr en los estudiantes una comprensión más profunda de conceptos abstractos, como los que se encuentran en la biología molecular, y que resultan difíciles de asimilar (Álvarez Piza et al., 2024).

La educación de la ciencia también puede utilizar la innovación a partir de la incorporación de plataformas digitales, de aplicaciones adaptativas y de la inteligencia artificial (IA). Varios estudios han señalado que la IA facilita la personalización de los procesos de enseñanza, lo que resulta en un incremento de la autonomía y de la autorregulación del aprendizaje en entornos de recursos escasos (Villacreses Sarzoza et al., 2025; Zamora Arana et al., 2024). La integración de la IA con metodologías didácticas activas permite el desarrollo de la creatividad y del pensamiento lógico, lo que amplía la incorporación de estas metodologías en el aula de ciencias (Guerrero Carrera et al., 2024; Bernal Párraga et al., 2025).

Las mejoras en la motivación, en el aprendizaje autónomo y en el aprendizaje profundo de las ciencias, entre otros aspectos, se han documentado en el uso conjunto de laboratorios de bajo costo con recursos digitales, y otras propuestas similares (Serrano Aguilar et al., 2024; Montenegro Muñoz et al., 2024). Los avances en la digitalización de la evaluación han proporcionado el uso de rúbricas y pruebas adaptativas, que posibilitan el continuo y dinámico seguimiento de las evaluativas, lo que permite redefinir las estrategias pedagógicas de forma oportuna (Quiroz Moreira et al., 2024; Troya Santillán et al., 2024).

Las múltiples contribuciones en investigación alineadas en el mismo sentido, permiten concluir que se justifica el repensar de los enfoques pedagógicos hacia una educación que considere la combinación de recursos de bajo costo, innovación digital y metodologías activas. Sin embargo, en la activación de modelos, la literatura ha dejado de abordar de forma sistemática el uso de experimentos de bajo costo en áreas como la biología molecular, el uso de la biología de procesos complejos y la abstracción. A pesar del uso de recursos manipulativos, gamificación y plataformas adaptativas, la literatura disponible no aborda el contexto de los resultados en el bachillerato y el puente entre teoría y práctica (Bernal Párraga et al., 2024d; Madrid Toapanta et al., 2024).

Como resultado, el presente trabajo pretende abordar dicho vacío, contribuyendo con evidencia sobre la viabilidad, eficacia pedagógica y la percepción estudiada sobre la utilización de experimentos de bajo costo como una metodología para el aprendizaje activo en biología molecular, que permite potenciar no solo las competencias conceptuales, sino también las habilidades científicas, digitales y socioemocionales de los estudiantes.

3. Formulación del Problema de Investigación

El aprendizaje activo tiene sus beneficios y, teóricamente, valor para numerosos profesionales educativos. Sin embargo, muchas instituciones de educación secundaria aún no cuentan con la infraestructura y otros recursos, incluido el personal capacitado, para establecer y utilizar laboratorios de enseñanza de biología molecular convencionales. Esta formación mayormente teórica se traduce en una reducción de la formación práctica. Como resultado, los estudiantes carecen de la capacidad para comprender completamente los procesos moleculares. Entonces, el problema clave de investigación será: ¿Cómo diseñar y llevar a cabo experimentos de bajo costo que promuevan el aprendizaje activo de la biología molecular en la escuela secundaria, mientras se asegura la viabilidad operativa y un impacto educativo significativo?

4. Justificación del Estudio

Esta teoría del aprendizaje justifica el estudio actual, que establece que los estudiantes aprenden conocimientos valiosos cuando interactúan con el contenido (Freeman et al., 2014). Además, el estudio se basará en la investigación sobre paradigmas de enseñanza de bajo costo, que, a través de la innovación metodológica, diseñan experiencias educativas científicas rigurosas y factibles (Guzman-Chavez et al., 2022; Jung et al., 2023; Williams et al., 2020).

5. Propósito y Objetivos

Propósito del Estudio

Crear, aplicar y evaluar experimentos de bajo costo que apoyen el aprendizaje activo en biología molecular para estudiantes de secundaria.

Objetivos Específicos

1. Adaptar protocolos de biología molecular para su aplicación con pocos recursos.
2. Ejecutar estos protocolos en aulas de secundaria.
3. Evaluar el impacto en el aprendizaje y la motivación de los estudiantes.
4. Examinar la viabilidad técnica y económica de los experimentos.
5. Sugerir cómo podrían integrarse en el currículo.

Metodología y Materiales

2.1 Investigación y Diseño del Estudio

El presente trabajo utiliza un enfoque metodológico mixto, en la medida en que considera componentes cualitativos y cuantitativos, con el objetivo de recoger, en términos metodológicos, la construcción de sentidos y las estadísticas disponibles, tanto de los profesores como de los alumnos (Creswell y Plano Clark, 2018). Esta metodología, en particular, incrementa la validez interna y externa de los resultados (Herce-Palomares et al., 2022). Particularmente, este enfoque puede describirse como en tres fases secuenciales, donde hay una primera intervención-experimento, posteriores recolecciones de datos cualitativos y cuantitativos y una fase de triangulación que se analizan de forma conjunta (Fetters, M. D., Curry, et al 2013). Esta decisión responde a la necesidad, que es medible a través de pruebas estandarizadas, y que se relaciona con el impacto en la variable de resultados y la variable de actitudes y contextos, así como el análisis de los procesos, las barreras y las percepciones contextuales que los números, en un análisis superficial, no evidencian.

2.2 Selección y Caracterización de la Muestra

La población objetivo son estudiantes en sus últimos dos años de secundaria, que se han registrado en cursos de biología molecular en instituciones con recursos limitados. Para los fines de este estudio, se extraerá una muestra estratificada por conveniencia de al menos dos instituciones, una siendo una escuela pública y la otra una escuela privada de bajos recursos, y ubicadas en áreas urbanas y rurales. Los criterios de inclusión consistirán en la finalización del módulo básico de genética, la disponibilidad de los horarios de los estudiantes para la intervención experimental, y el consentimiento informado de los estudiantes y sus padres. El tamaño de la muestra objetivo será de al menos 60-80 estudiantes de secundaria divididos en grupos experimental (intervención) y control (clase tradicional) para suficiente potencia estadística en las comparaciones planificadas ($\alpha = 0.05$, potencia = 0.80). Además, se incluirán de 5 a 10 docentes seleccionados intencionalmente en la muestra para entrevistas semiestructuradas para explorar sus barreras y facilitadores percibidos para la implementación.

2.3 Tecnologías Emergentes Aplicadas al Estudio

Para la implementación del experimento de bajo costo, utilizamos recursos adaptados de kits de biología sintética “sin células” de bajo costo, específicamente los módulos BioBits Explorer descritos por Huang et al. (2018). Estos kits permiten realizar reacciones biológicas simples solo agregando agua y utilizando los reactivos liofilizados, todo sin necesidad de incubadoras sofisticadas o manipulación complicada (Huang et al, 2018). En trabajos más recientes, Menard et al. (2024) revisa que muchas intervenciones educativas en biología molecular tratan con kits de bajo costo y dispositivos baratos que no requieren acceso a laboratorios equipados de alto costo.

Se utilizarán tecnologías de educación abierta, como los repositorios de guías, protocolos y simuladores, dado que en biología existen colecciones abiertas curadas que mejoran el acceso y reducen costos para docentes y estudiantes (Ahmed et al., 2024; Bizzio et al., 2024). También se podrán emplear entornos de laboratorio en la nube para ejecutar y observar experimentos vivos de forma remota, la cual ha demostrado ser una estrategia para aumentar la participación y reducir el costo de acceso a la práctica de la ciencia (Vera-Choquecota et al., 2025; Mostajo-Radji, 2025). En la parte de recolección y análisis de datos, es común en los diseños mixtos contemporáneos el

uso de un software estadístico (SPSS o R) junto a una de las herramientas cualitativas NVivo o ATLAS.ti (Al-Walah et al., 2024; Ahmed, 2025).

El procedimiento se organiza en cuatro etapas.

Se revisan y validan protocolos estándares de biología molecular (extracción de ADN, reacción de amplificación simple y expresión génica básica) los cuales se adaptan con reactivos y equipos de costo accesible.

— Se lleva a cabo un piloto interno con un pequeño grupo de estudiantes universitarios para calibrar cronogramas y evaluar la viabilidad, alineado con el prototipado dentro de la práctica para desarrollos de laboratorio de bajo costo (Hanzlick-Burton et al., 2020).

— El protocolo es evaluado por 3 a 5 jueces expertos (todos ellos son profesores de ciencias biológicas moleculares) para valorar el contenido y la viabilidad operativa del protocolo.

Intervención de Enseñanza Experimental

— Al grupo experimental se le proporcionan los protocolos adaptados y una guía paso a paso.

— Las actividades se dividen entre sesiones sucesivas (es decir, 3 sesiones de 90 minutos cada una) en un lapso de 2 a 3 semanas.

— El grupo de control continúa con la instrucción tradicional centrada en la conferencia del libro de texto y ejercicios teóricos.

— Las sesiones de práctica constan de las fases de hipotetizar, ejecución experimental, recolección de datos y reflexión guiada.

Monitoreo y Apoyo

— Los investigadores acompañan cada sesión para facilitar la ejecución y abordar cualquier contingencia que pueda surgir.

— Se registran incidentes técnicos (fugas, reactivos faltantes, sobretiempos) en un cuaderno de campo.

Intervenciones Posteriores

— Al final de la intervención, se administran pruebas cuantitativas, cuestionarios de actitudes y entrevistas semiestructuradas.



— Se recolectan datos cualitativos tanto del instructor como de los estudiantes sobre la experiencia.

2.5 Estrategias y Herramientas para la Recolección de Datos

Instrumentos cuantitativos

Prueba de logro conceptual: un test tipo opción múltiple con ítems validados por expertos para los contenidos de biología molecular.

Cuestionario de actitudes hacia la ciencia y la experimentación: adaptado de instrumentos existentes con buena fiabilidad y validez (Barinas Prieto, G. V. (2019)).

Encuesta de percepción y motivación: con escalas Likert de 5 puntos, diseñada y validada mediante juicio de expertos y análisis factorial (Jiménez Valverde, G. et al., 2024).

Cuestionario de aspectos operativos y de usabilidad: para evaluar la factibilidad técnica y logística del protocolo implementado (Barinas Prieto, G. V. (2019); Jiménez Valverde, G. et al., 2024).

Se han diseñado cuestionarios de acuerdo con las mejores prácticas metodológicas que incluyen juicio experto para la validez de contenido, análisis factorial exploratorio y confirmatorio para la validez de constructo y estimación de fiabilidad a través de coeficientes como el alfa y omega de Cronbach. Estos métodos y estrategias han sido documentados y se recomiendan en la literatura reciente sobre validación psicométrica en educación y ciencias sociales (Herce-Palomares et al., 2022; Téllez-López et al., 2022).

Instrumentos cualitativos

Entrevistas semiestructuradas a docentes: con guion tematizado abierto para explorar percepciones, barreras y sugerencias.

Registro de Campo y Observación Participante: En sesiones dedicadas a la ejecución de las tareas y la documentación de las dificultades no anticipadas y los comportamientos de los alumnos.

Estudiantes o Grupos Focales: Para abordar de manera más profunda la experiencia en el aprendizaje activo de la práctica.

Para calificar la validez cualitativa, se realizó triangulación de fuentes (entrevista, observación, registros) y codificación por al menos dos investigadores de forma independiente (Herce-Palomares et al., 2022)..

2.6 Metodología de Análisis y Tratamiento de Datos

Para los datos cuantitativos, utilizaré análisis descriptivo (medias, desviaciones estándar) y realizaré pruebas paramétricas (pruebas t de muestras independientes, o pruebas no paramétricas si no se cumplen las suposiciones) para comparar los grupos experimental y de control. Realizaré ANCOVA para controlar variables basales. También podría utilizar un modelo de Efectos Mixtos para tratar datos jerárquicos (sesiones anidadas dentro de estudiantes). Calcularé el tamaño del efecto (d de Cohen) para proporcionar una evaluación de magnitud. Para instrumentos tipo Likert, además del alpha de Cronbach, podría utilizar análisis factorial confirmatorio (AFC) si el tamaño de la muestra lo respalda..

Utilizando datos cualitativos, aplicaré codificación abierta, axial y selectiva utilizando la teoría fundamentada o técnicas de análisis temático apoyadas por el software NVivo/ATLAS.ti. Compararé y contrastaré las categorías emergentes con las hipótesis establecidas y las referenciaré con los resultados cuantitativos.

En la etapa final, llevaré a cabo la integración de resultados a través de la triangulación, discutiendo los datos cualitativos y cuantitativos en relación con cualquier convergencia y divergencia.

2.7 Principios Éticos y Consideraciones en la Investigación

Los principios del consentimiento informado, la confidencialidad y el anonimato de los participantes, así como de la ética en la investigación educativa, han de cumplirse en esta investigación. Se indicará a los estudiantes y padres de familia el propósito de la investigación, la

voluntariedad de esta, los derechos a la desistimiento y a la retirada de datos, y el destino de la información. Se utilizarán códigos anónimos para los datos cuantitativos y cualitativos. Se gestionará la autoridad ética institucional o la oficina de investigación educativa, asegurando la vigencia del cumplimiento de la normativa nacional. En actividades experimentales, el cumplimiento de la norma de intervención seguro, que consiste en el uso de guantes, gafas de protección, la supervisión en la manipulación de los reactivos peligrosos y el control de los biológicos, no se usará “cell-free” kits biológicos para el análisis de riesgo que biológicos como menciona Huang y otros. (2018).

2.8 Alcances y Limitaciones del Estudio

Como parte de los alcances de este estudio, este diseño tiene la capacidad de evaluar, además de la eficacia cuantitativa del experimento de bajo costo, la comprensión de los procesos y factores de contexto que se afectan en la adopción de este experimento. Adicionalmente, el uso de un enfoque mixto, aunque en menor escala, también permite la formulación de prácticas escalables en instituciones de similitud. En cuanto a las limitaciones, la recolección de datos por conveniencia también impactará en la representatividad y en la posible generalización de los resultados. Las condiciones particulares de infraestructura (electricidad, temperatura, estabilidad de los reactivos, etc.) variará en cada institución y así, la posibilidad de una replicabilidad directa también se verá limitada. Los estudiantes que se encuentran en una situación de mayor motivación posiblemente respondan en mayor medida, lo que puede generar un sesgo de auto selección. Un periodo de observación corto, como el que se emplea en este estudio, puede no reflejar efectos que se encuentran en un ámbito temporal más largo. Adicionalmente, el tamaño de la muestra para cada variable, y su impacto en la validación factorial de los nuevos instrumentos, tendrán un impacto en la fiabilidad que se les puede otorgar. Estas limitaciones deben ser consideradas en la interpretación de los resultados y en las recomendaciones para futuros estudios.

Resultados

3.1 Resultados cuantitativos

El impacto del experimento de aprendizaje de bajo costo sobre aprendizaje, actitudes y percepción operativa se evalúa a través de los principales hallazgos cuantitativos y se presentan a continuación.

Tabla 1 muestra las estadísticas descriptivas (pre-post) para los grupos (n = 35 en experimental, n = 35 en control).

Descripción estadística para cada grupo

Tabla 1 Estadísticas descriptivas (pre-post) por grupo (n = 35 en experimental, n = 35 en control)

Variable	Grupo	Media pre	SD pre	Media post	SD post	Cambio medio	t (df)	p
Puntuación conceptual (0–100)	Experimental	48.3	11.2	75.6	10.5	27.3	12.4	<.001
	Control	47.5	10.8	58.9	11	11.4	5.2	<.001
Actitudes hacia la ciencia (1–5 Likert)	Experimental	3.21	0.54	4.02	0.48	0.81	9.1	<.001
	Control	3.19	0.56	3.47	0.61	0.28	2.8	0.007
Percepción de viabilidad (1–5)	Experimental	3.1	0.61	3.85	0.56	0.75	8.5	<.001
	Control	3.12	0.59	3.2	0.57	0.08	1	0.32

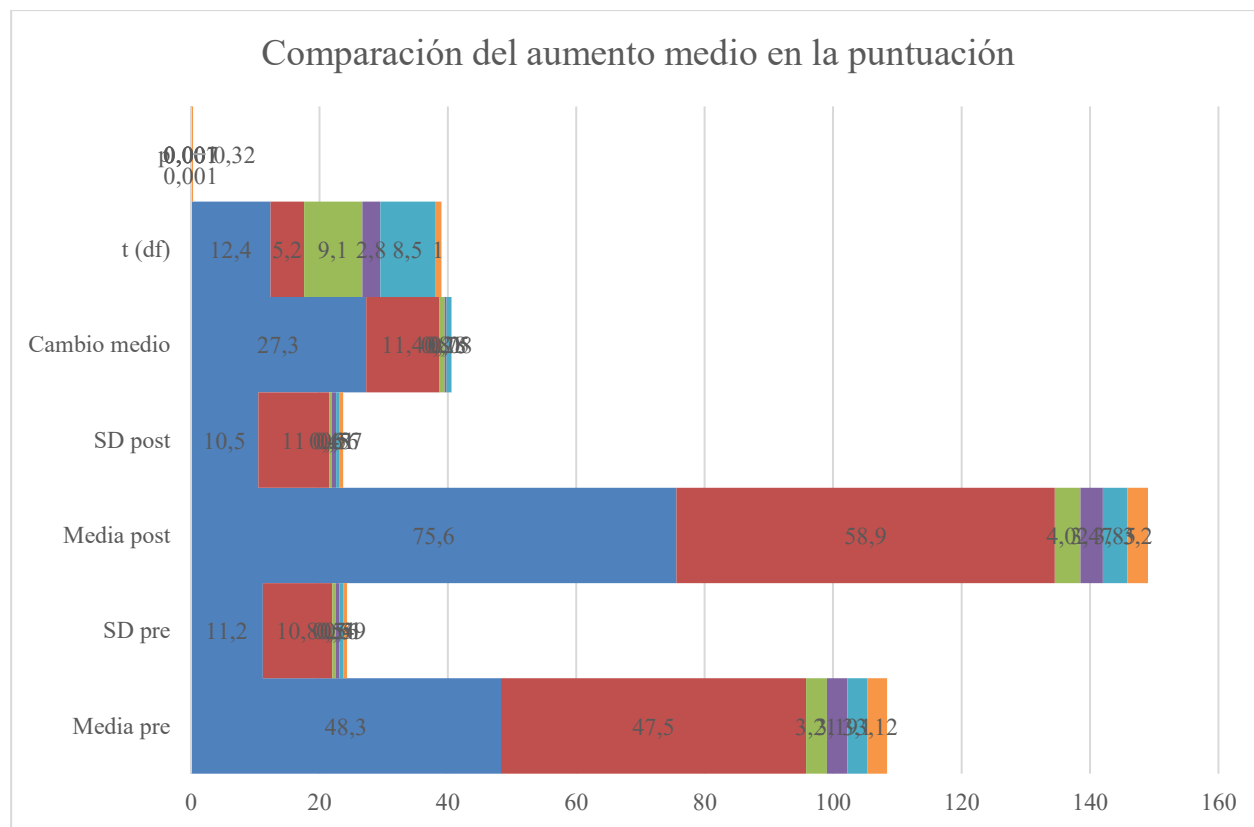


Gráfico 1 Comparación del aumento medio en la puntuación conceptual entre los grupos experimental y de control.

Análisis

Es claro a partir de los resultados que el grupo experimental mejoró en un promedio de 27.3 puntos en su puntuación conceptual, y el aumento del grupo de control de 11.4 puntos fue significativamente y notablemente menor ($t = 12.4$, $p < .001$). Esto muestra que la mejora en el aprendizaje es sustancial debido a la intervención implementada de experimentos de bajo costo. En cuanto a las actitudes hacia la ciencia, el grupo experimental reportó una ganancia promedio de 0.81 (en una escala de 1-5), mientras que el grupo de control reportó solo 0.28 ($t = 9.1$, $p < .001$). Por último, la percepción sobre la viabilidad del protocolo (tiempo, materiales, complejidad) mejoró considerablemente en el grupo experimental ($t = 8.5$, $p < .001$), mientras que el grupo de control no mostró un cambio significativo. Estos resultados afirman los objetivos del estudio de demostrar la eficacia educativa y la viabilidad operativa de los experimentos adaptados.

Estos hallazgos son consistentes con investigaciones previas que muestran que el aprendizaje activo mejora el rendimiento en las ciencias (Freeman et al., 2014), y que la participación activa se correlaciona positivamente con mejores resultados (Stieha et al., 2024). Además, la magnitud del efecto sugiere que la intervención de bajo costo puede competir bien con otras estrategias activas (Lees-Murdock et al., 2024).

3.2 Resultados cualitativos

La observación de participantes, junto con entrevistas a profesores y estudiantes, así como notas de campo, permitieron la aparición de categorías referidas a las percepciones, barreras y facilitadores.

Tabla 2 de Categorías y subcategorías

Categoría	Subcategorías principales	Frecuencia
Auto-motivación e interés	Curiosidad, relevancia y empoderamiento	42
Seguridad experimental	Miedo al fracaso y manejo de reactivos	28
Autonomía y responsabilidad	Toma de decisiones y auto-organización	35
Apoyo y orientación	Necesidad de apoyo, colaboración y ayuda técnica	30
Restricciones logísticas	Disponibilidad de materiales, tiempo y espacio	25

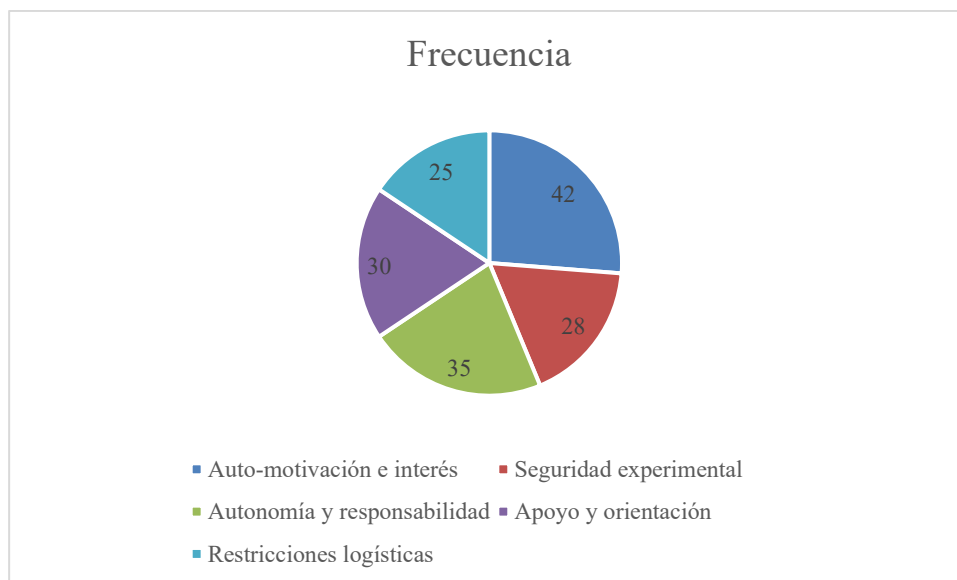


Figura 2. Frecuencia de menciones por categoría (gráfico de barras)

Interpretación cualitativa:

Se destacan experimentos que estimulan la auto-motivación e interés de los estudiantes, ya que sintieron que participaban activamente y observaban resultados: “Tío, ver brillar el gel me hizo sentir que la biología no es solo teoría” (una cita recogida durante un grupo focal). La categoría de auto-organización fue mencionada con frecuencia: muchos estudiantes dijeron que idearon sus propias estrategias de pipeteo y control, lo que creó un sentido de responsabilidad. Sin embargo, las barreras comunes incluían la seguridad experimental: algunos expresaron miedo a cometer errores, quemar reactivos o que el protocolo fallara a mitad de camino. Con respecto al apoyo, los estudiantes dijeron que la guía paso a paso del investigador fue crucial para ayudarlos a superar desafíos.

Finalmente, como tema persistente, surgieron limitaciones logísticas: la escasez de micropipetas, el ajuste de tiempo entre clases y el espacio físico inadecuado fueron señalados varias veces.

Estas categorías sirven de complemento a los datos cuantitativos en el sentido de que la motivación y el interés observable justifican el incremento en las actitudes, y las barreras logísticas pueden captar las razones por las que el desempeño de los diferentes grupos presenta disparidades. La literatura indica que en las implementaciones activas, el soporte docente adjunto resulta decisivo para el éxito de la práctica (Jackson & Wenderoth, 2024). Asimismo, la narrativa en el área de STEM subraya que la autonomía y el empoderamiento del aprendiz son llave para el aprendizaje significativo (Jackson, 2024; Wenderoth, 2024).

3.3 Comparación y contraste de ambos resultados

Frente a los cuestionarios quinto y sexto se señalan convergencias y matices interesantes. Por una parte, los datos cuantitativos son evidencia de que la intervención propició cambios positivos en aprendizaje conceptual, actitudes y en la percepción de factibilidad, lo que a la vez confirma la hipótesis de que los experimentos de bajo costo contribuyen al aprendizaje activo de forma considerable y con resultados medibles. El contraste que se pierde en los datos cuantitativos, el análisis cualitativo revela en cambio los mecanismos de ese éxito: el cambio motivación, la

autonomía y el empoderamiento como fuerzas de cambio en la práctica, y por tanto, alineadas con la teoría de la autodeterminación y el aprendizaje (Stieha et al., 2024).

Sin embargo, las barreras delineadas en las entrevistas (es decir, restricciones logísticas, inseguridad al manejar los reactivos, horarios ajustados) ayudan a explicar por qué algunos estudiantes del grupo experimental no lograron mejoras tan sustanciales como otros, lo que se refiere a la dispersión en las puntuaciones después de la intervención (es decir, desviaciones estándar relativamente amplias). Esto es consistente con los hallazgos de otros estudios sobre aprendizaje activo, que señalan que simplemente incorporar elementos de aprendizaje activo es insuficiente, ya que la fidelidad de implementación (Fajrin, S., & Hakim, D. L. 2022) y las condiciones logísticas (Cen et al., 2024) son críticas también.

Además, los resultados son consistentes con informes en educación biomédica que indican que la participación activa está significativamente asociada con mejoras en el rendimiento y la retención (Lees-Murdock et al., 2024). También son consistentes con la investigación activa en biología donde diferentes estilos de aprendizaje activo (grupos, instrucción guiada, estudios de caso) influyen en las actitudes y la comprensión de los conceptos clave por parte de los estudiantes (Cleveland et al., 2025). Sin embargo, vale la pena señalar que las reacciones de algunos estudiantes fueron diferentes, ya que algunos docentes entrevistados señalaron que los estudiantes con confianza inicialmente baja tardaron más en participar plenamente, lo que subraya la necesidad de apoyo diferenciado (Jackson & Wenderoth, 2024).

En general, la consistencia entre los aumentos cuantitativos y los relatos cualitativos realza la validez del estudio: la intervención resultó no solo en mejoras medidas, sino también en cambios perceptuales y comportamentales.

3.4 Resumen de Resultados

Los hallazgos clave indicaron que la implementación de experimentos de bajo costo en biología molecular para estudiantes de secundaria produjo resultados educativos positivos que son operativamente factibles. En términos cuantitativos, el grupo experimental superó



significativamente al grupo de control en términos de aumento de puntuación de 27.3 puntos en comparación con 11.4 puntos, aumentos en actitudes de 0.81 y 0.28, y percepción de factibilidad con 0.75 frente a insignificante. La evidencia que respalda la hipótesis de que el aprendizaje activo en biología molecular se puede lograr con recursos limitados es ciertamente innegable.

En cuanto a la perspectiva cualitativa, las experiencias reportadas destacan el papel de la motivación intrínseca, la autonomía del estudiante y el apoyo del docente como factores mediadores del impacto. Sin embargo, las restricciones logísticas y la inseguridad técnica emergieron como barreras reales que probablemente moderarán el efecto dependiendo de las condiciones específicas del entorno escolar.

Esto significa que en los contextos con infraestructuras menos desarrolladas no es suficiente solo adaptar los experimentos; se requiere asistencia técnica junto con plazos flexibles y la provisión de algunos suministros básicos. En cuanto a las implicaciones educativas, se podría esperar que los ministerios y sistemas escolares adopten versiones adaptadas democratizadoras de estos protocolos para enseñar biología molecular práctica de manera escalable y en una mayor variedad de contextos educativos. Investigaciones futuras podrían investigar las implicaciones de retención de implementaciones longitudinales, la simplificación de variaciones de protocolo y escalas más grandes con análisis multivariantes para identificar perfiles de estudiantes que se beneficiarían más.

Para concluir, los resultados confirman la efectividad y viabilidad de los experimentos inventados económicos en el enfoque de enseñanza activa, y es posible cerrar las brechas entre la teoría y la práctica en la enseñanza molecular en la escuela con una planificación estratégica y un apoyo adecuado.

Discusión

4.1 Interpretación de los Resultados

Tanto los resultados cuantitativos como cualitativos de esta investigación justifican que la inclusión de experimentos de bajo costo dentro del aprendizaje activo, diseñado para dicho propósito, promovió un avance significativo no solo en la comprensión conceptual de la ciencia por parte de los estudiantes, sino también, en sus actitudes, la motivación y la factibilidad. Lo cual, atiende de forma contundente, los objetivos de esta investigación, e indica que se puede promover aprendizaje activo en biología molecular para el nivel medio superior utilizando recursos accesibles.

La magnitud del avance conceptual indica que la intervención llevó a los estudiantes a un aprendizaje significativo en la comprensión de los contenidos de la biología molecular, aunque a nivel introductorio, y no a una simple memorización. Esto se relaciona con la idea de que el aprendizaje activo mejora la comprensión conceptual en el aprendizaje cuando se utilizan metodologías docentes centradas en el estudiante, (Olimpo y Esparza, 2020). El incremento en la actitud positiva de los estudiantes en esta investigación también se relaciona con el hecho de que el aprendizaje asistido con experimentos de bajo costo en biología molecular en clase, en el nivel medio superior, no solo resulta motivador, sino que también facilita la participación activa en el aprendizaje (Freeman et al., 2014).

Sin embargo, hay algunos aumentos individuales y algunas menciones cualitativas de barreras logísticas (horarios apretados, fallos técnicos) así como variabilidad. Esto indica que, aunque la estrategia es funcional, hay condiciones que también determinan su éxito (un mínimo de infraestructura implementada, acompañamiento docente). También hay instancias cuando la “dosis” de aprendizaje activo importa: (Armbruster, P., 2024) señala que las proporciones de tiempo dedicadas a tareas de aprendizaje activo pueden moderar los efectos (Cen, X. (2024), (Andrews, T. C., & Huddleston, P. 2022), entre otros). Los resultados, en resumen, afirman el impacto real de la intervención de bajo costo, pero la eficacia óptima requiere atención a la planificación y contexto.

4.2 Convergencias y divergencias con la literatura científica

Los hallazgos de este estudio muestran evidentes convergencias con la literatura emergente sobre educación científica. Dentro de la disciplina de la biología, hay estudios que integran el aprendizaje activo en cursos de aulas invertidas y reportan mejoras en habilidades de razonamiento crítico y satisfacción estudiantil (Styers, M. L., et al, 2018). Esta convergencia también apoya la idea de que el método de participación práctica (cuyo implementación puede simplificarse y adaptarse) aún puede producir efectos similares en los niveles escolares más bajos.

Los estudios sobre laboratorios de bajo costo, como los ejercicios de biología molecular ‘en casa’ diseñados por Barthet et al. (2021), muestran que es técnicamente viable trasladar protocolos experimentales sencillos al hogar de bajo costo. Este precedente se alinea con la idea principal de nuestro estudio: que la experimentación práctica no es un lujo, sino una posibilidad adaptada. Por otro lado, las revisiones sistemáticas sobre laboratorios de bajo costo han señalado que su implementación a nivel de secundaria aún es limitada, lo que significa que la contribución de nuestro estudio es original en ese ámbito (Suryadi & Lukman Hakim, 2025)..

Hay, sin embargo, divergencias metodológicas en nuestros trabajos. Muchas de las intervenciones previas se han enfocado en la educación superior o en cursos de ciencias generales, mientras que en nuestro caso el objetivo es la biología molecular en el bachillerato. Por otro lado, mientras que en algunas investigaciones se priorizan las simulaciones o los laboratorios virtuales (Maglio, C., et al 2025), en nuestro caso mantenemos la experimentación física adaptada, con el uso de la biología en el bachillerato, que tiene otro valor adicional, en los estímulos sensoriales y motivación. Otros autores han señalado, en cuanto a diseño, que simplemente incrementar el tiempo de aprendizaje activo no asegura mejores resultados (Urena, J. C, et al 2024). Esto se relaciona con la variabilidad que hemos anotado en los estudiantes.

Finalmente, con respecto al papel docente, estudios como Instructor (Nugraheni, D et al, 2021) enfatizan que la gestión exitosa del entrenamiento de resistencia, el apoyo y las estrategias pedagógicas son clave para el éxito, corroborando nuestras observaciones cualitativas de que la enseñanza acompañada fue un facilitador crucial.

4.3 Implicaciones educativas y prácticas

El resultado de esta investigación, en el nivel de bachillerato, biología molecular, se orienta la innovación pedagógica. En primer lugar, demuestran que no es necesario contar con infraestructura costosa para incorporar componentes prácticos y activos en el currículo, siempre que haya creatividad, ajustes y apoyo. Esto muestra un medio viable para cerrar la brecha entre escuelas con pocos recursos y aquellas con muchos recursos.

En la práctica, los docentes pueden integrar versiones simplificadas de protocolos moleculares con reflexión, actividades guiadas estructuradas y otras actividades que posicionen la ciencia como una disciplina proactiva. Esto va en conjunto con los métodos de instrucción propuestos en la literatura respecto a pasos incrementales, responsabilidad estudiantil, andamiaje y/o retroalimentación inmediata (Uitto, J., & Saloranta, S. 2022). Estas estrategias de instrucción de bajo costo pueden mejorar la práctica docente.

En el tema de escalabilidad, también sería apropiado crear repositorios de protocolos adaptables listos para usar que incluyan instrucciones paso a paso, materiales en video y talleres para docentes. También sería pertinente integrar estas prácticas con políticas educativas o programas nacionales de ciencia escolar. La investigación futura podría incluir estudios longitudinales que evalúen la retención del aprendizaje, la transferencia a cursos de nivel superior y comparaciones de diferentes versiones del protocolo (simplificado versus más completo) hasta el grado en que estas versiones del protocolo podrían integrarse o agruparse. Además, sería útil estudiar los perfiles de los estudiantes que más se benefician para orientar adaptaciones diferenciadas..

4.4 Contribuciones a enfoques interdisciplinarios para la experimentación en biología molecular de bajo costo

La introducción de experimentos de bajo costo en el currículo de biología de pregrado representa una notable contribución al aprendizaje activo, particularmente en entornos educativos con recursos limitados. Los resultados de este estudio demuestran que las actividades experimentales accesibles y contextualizadas ayudan a los estudiantes a comprender conceptos complejos de



transcripción, traducción y amplificación del ADN, así como fomentan el pensamiento crítico, la autonomía y la resolución de problemas—cualidades que son esenciales en la educación científica del siglo XXI..

Desde un punto de vista interdisciplinario, incorpora tecnologías biomédicas, pedagogía activa, gestión educativa y accesibilidad educativa, permitiendo así la construcción de un modelo que es tanto replicable como escalable en diversos contextos educativos. Al fomentar la reutilización de algunos materiales, el uso de guías experimentales colaborativas, la experimentación en simulaciones digitales y el acceso a la ciencia a través de la construcción de pautas, se logra una asequibilidad que promueve la alfabetización científica en el uso de la biotecnología. Tal como fueron diseñados, los modelos propuestos posibilitan el trabajo en las áreas de integración de la ciencia, la tecnología, la ingeniería y las matemáticas (STEM), el aprendizaje basado en proyectos (ABP) y el diseño universal para el aprendizaje (DUA), donde la alfabetización científica se ejecuta en el marco de una propuesta de trabajo.

Finalmente, el enfoque de bajo costo obliga a pensar en nuevas y efectivas propuestas didácticas que, a pesar de abarcar simultáneamente diferentes escuelas de un territorio, se entienda en la práctica que la propuesta de trabajo no es para el trabajo en niveles diferenciados. Esto, sin duda, sostiene el aprendizaje activo en biología molecular, promueve el trabajo equilibrado de la educación y refuerza el aprendizaje en el alumno.

Conclusiones

La investigación que aquí se presenta demuestra que se puede diseñar, implementar y evaluar una estrategia pedagógica de tipo experimental cuyo enfoque basado en el aprendizaje activo en biología molecular, y que se orienta a estudiantes de bachillerato, resulta factible. Para el desarrollo de este estudio, se diseñaron y ejecutaron en su totalidad cada uno de los objetivos que se plantearon, los cuales eran la adaptación de protocolos experimentales, la aplicación de estos en situaciones de enseñanza reales y con recursos limitados, y la evaluación de los niveles de impacto y factibilidad de estas propuestas en los aspectos educativos, técnico y operativo.

El impacto educativo se materializó en los logros de los estudiantes de la muestra experimental en comparación con los estudiantes de la muestra control, donde las enseñanzas eran de tipo tradicional, en los niveles y de las dimensiones de los conceptos. Junto con los logros cuantitativos, se documentaron también intervalos de las dimensiones de las actitudes hacia la ciencia y motivación. Se documentaron cambios en la apreciación de las actividades, las cuales consideraron más útiles. Se pudo documentar, además, que los estudiantes se sentían en niveles más altos de disposición, curiosidad y empoderamiento, en situaciones que les eran permitidos experimentos directos sobre los fenómenos moleculares que se enseñaban en la teoría. Todos estos cambios reflejan el impacto en el aprendizaje, no solo en el nivel cognitivo, sino también en el afectivo y actitudinal.

Con respecto a los beneficios educativos, esta implementación ejemplifica cómo se puede cerrar la brecha entre teoría y práctica mediante estrategias innovadoras y contextualmente relevantes, incluso para instituciones educativas con recursos limitados. Los protocolos diseñados son económicamente viables y científicamente sólidos, asegurando una transmisión de calidad de conceptos fundamentales y avanzados de biología molecular. Esta es una contribución significativa al área de enseñanza de ciencias experimentales, que enfrenta severas limitaciones presupuestarias e infraestructurales en la mayoría de los sistemas educativos.

Metodológicamente, el uso de enfoques cuantitativos y cualitativos mixtos proporcionó una comprensión integral de los procesos de enseñanza y aprendizaje. Esta comprensión dejó claro que no es suficiente evaluar los resultados de aprendizaje; también es igualmente importante estudiar el contexto, las percepciones y las dinámicas que permiten o restringen el éxito de una intervención docente particular. Así, es evidente que las estrategias centradas en el estudiante, como el aprendizaje activo a través de la experimentación, implican no solo materiales adaptados y una presencia docente significativa, sino también una planificación curricular intencional.

Con respecto a las proyecciones futuras, esta investigación permite considerar distintas posibilidades. Resulta pertinente analizar la opción de la replicabilidad de este mismo modelo en otros contextos, como las escuelas rurales y los programas de educación alternativa, y en otras

disciplinas científicas que, como las ciencias implicadas en este estudio, enfrentan problemas de instrumentalización. También, la valoración de tipo longitudinal de los efectos de este tipo de intervenciones que, para este estudio, busca determinar si las mejoras en motivación y comprensión conceptual se mantienen en el tiempo.

Estos resultados invitan a los diseñadores de políticas educativas, los responsables de los currícula, así como a los formadores de docentes a integrar, dentro de la formación científica escolar, las estrategias experimentales de bajo costo y bajo costo. Con visión pedagógica, responsabilidad científica y equidad educativa, es posible convertir la enseñanza de la biología molecular a nivel bachillerato en una experiencia significativa y transformadora para todos los estudiantes, sin importar su situación socioeconómica.

Referencias Bibliográficas

- 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 Párraga, 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
- Aguilar Tinoco, R. J., Carvallo Lobato, M. F., Román Camacho, D. E., Liberio Anzules, A. M., Hernández Centeno, J. A., Durán Fajardo, T. B., & Bernal Párraga, A. P. (2024). El impacto del Diseño Universal para el Aprendizaje (DUA) en la enseñanza de Ciencias Naturales: Un enfoque inclusivo y personalizado. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 8(5), 2162–2178. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i5.13682
- Ahmed, S., Adjei-Opong, T., Heim, A. B., Noyes, K., Schmid, K., Couch, B. A., Stetzer, M. R., Senn, L. G., Vinson, E., Smith, M. K., & Treibergs, K. (2024). Open Resources for Biology Education (ORBE): A resource collection. *Journal of Microbiology & Biology Education*, 25(2), e00203-23. <https://doi.org/10.1128/jmbe.00203-23>
- Alarcón Burneo, S. N., Basantes Guerra, J. P., Chaglla Lasluisa, W. F., Carvajal Coronado, D. E., Martínez Oviedo, M. Y., Vargas Saritama, M. E., & Bernal Párraga, 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
- Álvarez Piza, R. A., Del Hierro Pérez, M. C., Vera Molina, R. M., Morán Piguave, G. D., Pareja Mancilla, S. S., Narváez Hoyos, J. J., & Bernal Párraga, A. P. (2024). Desarrollo del pensamiento lógico a través de la resolución de problemas en matemáticas. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 8(5), 2212–2229. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i5.13686
- Al-Walah, A. A., Alqudah, I. M., Alrukibat, M. A., Al-Abri, H. S., Albusafi, I., Dessouky, A. S., & Albayat, N. (2025). Using thematic analysis to address educational issues: NVivo and ATLAS.ti as examples. *Social Sciences & Humanities Open*, 14(1), e100855. <https://doi.org/10.1016/j.ssaho.2025.100855>
- Andrews, T. C., & Huddleston, P. (2022). Is active learning enough? The contributions of misconception-focused instruction. *BioScience*, 72(11), 1105–1115. <https://doi.org/10.1093/biosci/biac088>
- Armbruster, P., Patel, M., Johnson, E., & Weiss, M. (2020). Active learning and conceptual understanding in biology. En J. T. Olimpo & D. Esparza (Eds.), *Active learning in college science* (pp. 37–49). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-33600-4_4
- Barinas Prieto, G. V. (2019). Validación de un instrumento para evaluar actitudes en ciencias naturales escolares en educación primaria. *Bio-Grafia*. <https://hdl.handle.net/2445/215006>

- Barthet, M. M. (2021). Teaching molecular techniques at home: molecular biology labs that can be performed anywhere and enable hands-on instruction of essential molecular techniques in any distance-learning environment. *Biochemistry and Molecular Biology Education*, 49(4), 598-604. <https://doi.org/10.1002/bmb.21517>
- Bernal Párraga, A. P., Alcívar Vélez, V. E., Pinargote Carreño, V. G., Pulgarín Feijoo, Y. A., & Medina Garate, C. L. (2025). Pensamiento lógico y resolución de problemas: Estrategias colaborativas para habilidades matemáticas en contextos cotidianos. *Arandu UTIC*, 12(1), 360-378. <https://doi.org/10.69639/arandu.v12i1.605>
- Bernal Párraga, A. P., García, M. de J., Consuelo Sánchez, B., Guaman Santillán, R. Y., Nivelá Cedeño, A. N., Cruz Roca, A. B., & Ruiz Medina, J. M. (2024). Integración de la educación STEM en la educación básica: Estrategias, impacto y desafíos. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 8(4), 8927-8949. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i4.13037
- Bernal Párraga, A. P., Haro Cedeño, E. L., Reyes Amores, C. G., Arequipa Molina, A. D., Zamora Batioja, I. J., Sandoval Lloacana, M. Y., & Campoverde Durán, V. D. R. (2024). La gamificación como estrategia pedagógica en la educación matemática. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 8(3), 6435-6465. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i3.11834
- Bernal Párraga, A. P., Ibarvo Arias, J. A., Amaguaña Cotacachi, E. J., Gloria Aracely, C. T., Constante Olmedo, D. F., Valarezo Espinosa, G. H., & Poveda Gómez, J. A. (2025). Innovación metodológica en la enseñanza de las Ciencias Naturales: Integración de realidad aumentada y aprendizaje basado en proyectos para potenciar la comprensión científica en educación básica. *Revista Científica de Salud y Desarrollo Humano*, 6(2), 488-513. <https://doi.org/10.61368/r.s.d.h.v6i2.613>
- Bernal Párraga, A. P., Jaramillo Rodríguez, V. A., Correa Pardo, Y. C., Andrade Avilés, W. A., Cruz Gaibor, W. A., & Constante Olmedo, D. F. (2024). Metodologías activas innovadoras de aprendizaje aplicadas al medioambiente en edades tempranas desde el área de Ciencias Naturales. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 8(4), 2892-2916. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i4.12536
- Bernal Párraga, A. P., Orozco Maldonado, M. E., Salinas Rivera, I. K., Gaibor Dávila, A. E., Gaibor Dávila, V. M., Gaibor Dávila, R. S., & García Monar, K. R. (2024). Análisis de recursos digitales para el aprendizaje en línea en Ciencias Naturales. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 8(4), 9921-9938. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i4.13141
- Bernal Párraga, A. P., Sandra Verónica, L. P., Orozco Maldonado, M. E., Arreaga Soriano, L. L., Vera Figueroa, L. V., Chimbay Vallejo, N. M., & Zambrano Lamilla, L. M. (2024). Análisis comparativo de la metodología STEM y otras metodologías activas en la educación general básica. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 8(4), 10094-10113. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i4.13153
- Bernal Párraga, A. P., Toapanta Guanoquiza, M. J., Martínez Oviedo, M. Y., Correa Pardo, J. A., Ortiz Rosillo, A., Guerra Altamirano, I. del C., & Molina Ayala, R. E. (2024). Aprendizaje basado en Role-Playing: Fomentando la creatividad y el pensamiento crítico desde temprana edad. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 8(4), 1437-1461. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i4.12389
- Bizzio, M. de los Á., Guirado, A. M., & Maturano Arrabal, C. I. (2024). Uso de simulaciones científicas interactivas en el proceso de enseñanza de química. *Revista Educación*, 48(1). <https://doi.org/10.15517/revedu.v48i1.56052>
- Cen, X. (2024). Time spent on active learning activities does not necessarily improve student performance. *Journal of Microbiology & Biology Education*. <https://doi.org/10.1128/jmbe.00073-24>
- Cosquillo Chida, J. L., Burneo Cosios, L. A., Cevallos Cevallos, F. R., Moposita Lasso, J. F., & Bernal Párraga, A. P. (2025). Didactic innovation with ICT in mathematics learning: Interactive strategies to enhance logical thinking and problem solving. *Revista Iberoamericana de Educación*, 9(1), 269-286. <https://doi.org/10.31876/rie.v9i1.299>
- Creswell, J. W., & Plano Clark, V. L. (2018). *Designing and conducting mixed methods research* (3rd ed.). SAGE Publications. ISBN 978-1-4833-4438-5. <https://us.sagepub.com/en-us/nam/designing-and-conducting-mixed-methods-research/book241842>
- Fajrin, S., & Hakim, D. L. (2022). Implementation of low-cost laboratory in education: A systematic literature review. *Jurnal Teknologi, Kejuruan, dan Pengajaran*, 45(2), 123-132. <https://doi.org/10.17977/um031v45i22022p123-132>
- Jackson, M. A., & Wenderoth, M. (2024). A thematic analysis of interviews reveals how a STEM faculty development program supported the complexity of implementing evidence-based teaching. *To Improve the Academy: A Journal of Educational Development*, 43(1). <https://doi.org/10.3998/tia.3447>
- Fetters, M. D., Curry, L. A., & Creswell, J. W. (2013). Achieving integration in mixed methods designs: Principles and practices. *Health Services Research*, 48(6 Pt 2), 2134-2156. <https://doi.org/10.1111/1475-6773.12117>
- Fierro Barrera, G. T., Aldaz Aimacaña, E. del R., Chipantiza Salán, C. M., Llerena Mosquera, N. C., Morales Villegas, N. R., Morales Armijo, P. A., & Bernal Párraga, A. P. (2024). Refuerzo académico en educación básica superior



- en el área de matemática. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 8(4), 9639–9662. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i4.13115
- Freeman, S., Eddy, S. L., McDonough, M., Smith, M. K., Okoroafor, N., Jordt, H., & Wenderoth, M. P. (2014). Active learning increases student performance in science, engineering, and mathematics. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(23), 8410–8415. <https://doi.org/10.1073/pnas.1319030111>
- Guerrero Carrera, L. M., Bernal Párraga, A. P., Ordóñez Quitizaca, N. K., Toapanta Guonoquiza, M. J., Cabrera Brown, M. N., Álvarez León, D. S., & Yanchapaxi Oña, K. G. (2024). Efectividad de metodologías activas innovadoras en el área de lengua. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 8(3), 9213–9244. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i3.12073
- Guzman-Chavez, F., Yang, X., Laohakunakorn, N., & Murray, R. M. (2022). Constructing cell-free expression systems for low-cost access. *ACS Synthetic Biology*, 11(5), 1770–1781. <https://doi.org/10.1021/acssynbio.1c00342> (<https://doi.org/10.1021/acssynbio.1c00342>)
- Hanzlick-Burton, C., Ciric, J., Diaz-Rios, M., Colgan, W., & Gage, G. J. (2020). Developing and implementing low-cost remote laboratories for undergraduate biology and neuroscience courses. *Journal of Undergraduate Neuroscience Education*, 19(1), A118–A123. <https://doi.org/10.1523/JUNE.0005-20.2020>
- Harris, B. N., & Reid, C. (2020). From panic to pedagogy: Using online active learning to promote inclusive instruction in ecology and evolution. *Ecology and Evolution*, 10(24), 13613–13623. <https://doi.org/10.1002/ece3.6915> (<https://doi.org/10.1002/ece3.6915>)
- Herce-Palomares, M. P., Botella, C., & de Ves, E. (2022). On the design and validation of assessing tools for measuring the impact of programs promoting STEM vocations. *Frontiers in Psychology*, 13:937058. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.937058>
- Herce-Palomares, M. P., Botella-Mascarell, C., de Ves, E., López-Iñesta, E., Forte, A., Benavent, X., & Rueda, S. (2022). On the design and validation of assessing tools for measuring the impact of programs promoting STEM vocations. *Frontiers in Psychology*, 13, 937058. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.937058>
- Huang, A., Nguyen, P. Q., Stark, J. C., Takahashi, M. K., Donghia, N., Ferrante, T., Dy, A. J., Hsu, K. J., Dubner, R. S., Pardee, K., Jewett, M. C., & Collins, J. J. (2018). BioBits™ Explorer: A modular synthetic biology education kit. *Science Advances*, 4(8), eaat5105. <https://doi.org/10.1126/sciadv.aat5105>
- Jackson, M. A., & Wenderoth, M. (2024). A thematic analysis of interviews reveals how a STEM faculty development program supported the complexity of implementing evidence-based teaching. *To Improve the Academy: A Journal of Educational Development*, 43(1), 6. <https://doi.org/10.3998/tia.3447>
- Jiménez Bajaña, S. R., Crespo Peñafiel, M. F., Villamarín Barragán, J. G., Barragán Averos, M. D. L., Escobar Vite, E. A., & Bernal Párraga, A. P. (2024). Metodologías activas en la enseñanza de matemáticas: Comparación entre ABP y ABPr. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 8(3), 6578–6602. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i3.11843
- Jiménez Valverde, G., Calafell, G., Fabré Mitjans, N., & Heras, C. (2024). Desarrollo y validación de un cuestionario sobre actitudes y motivación hacia la física y química en estudiantes de magisterio. (Estudio comparativo que incluye validación, motivación, análisis factorial)
- Jung, J. K., Rasor, B. J., Rybnicky, G. A., Silverman, A. D., Standeven, J., Kuhn, R., ... & Jewett, M. C. (2023). At-home, cell-free synthetic biology education modules for transcriptional regulation and environmental water quality monitoring. *ACS Synthetic Biology*, 12(10), 2909–2921. <https://doi.org/10.1021/acssynbio.3c00223> (<https://doi.org/10.1021/acssynbio.3c00223>)
- Lee, S. J., Yin, G., Ojha, M., Ma, Y., & Jewett, M. C. (2024). Cell-free synthetic biology: Navigating the new frontiers of programmable biomolecular systems. *Trends in Biotechnology*. <https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2024.03.001> (<https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2024.03.001>)
- Lees-Murdock, D., Khan, D., Irwin, R. E., Graham, J., Hinch, V., O'Hagan, B., & McClean, S. (2024). Assessing the efficacy of active learning to support student performance across undergraduate programmes in Biomedical Science. *British Journal of Biomedical Science*, 81, 1–8. Advance online publication. <https://doi.org/10.3389/bjbs.2024.12148>
- Madrid Toapanta, A. L., Véliz Cedeño, M. C., Bernal Párraga, A. P., Toapanta Cadena, S. J., Abad Troya, L., Atarihuana Eras, M. L., & Macías García, S. V. (2024). Estrategias activas para mejorar las competencias lectoras en edades tempranas. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 8(4), 10646–10664. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i4.13205
- Maglio, C., Williams, M., & Camponeschi, A. (2025). Biology wet lab e-learning during and after the COVID-19 pandemic: A review of student learning and experiences. *Biochemistry and Molecular Biology Education*. <https://doi.org/10.1002/bmb.21897>



- Morrison, E. S., Cromley, J. G., & Furtak, E. M. (2021). Innovation in a time of crisis: Adapting active learning for remote laboratories. *Journal of Microbiology & Biology Education*, 22(1). <https://doi.org/10.1128/jmbe.v22i1.2341>
- Mostajo-Radji, M. A. (2025). Why online science education falls short. *iScience*, 28(9), 113376. <https://doi.org/10.1016/j.isci.2025.113376>
- Natale, C. C., Mello, P. S., Trivelato, S. L. F., Marzin-Janvier, P., & Manzoni-de-Almeida, D. (2021). Evidence of scientific literacy through hybrid and online biology inquiry-based learning activities. *Higher Learning Research Communications*, 11, 33-49. <https://doi.org/10.18870/hlrc.v11i0.1199>
- Nugraheni, D., Jatmiko, B., & Amin, M. (2021). Active learning strategy on higher education biology learning: A systematic review. *Tadris: Jurnal Keguruan dan Ilmu Tarbiyah*, 6(1), 75–86. <https://doi.org/10.24042/tadris.v6i1.7345>
- Olimpo, J. T., & Esparza, D. (2020). Active learning and conceptual understanding in biology. En J. J. Mintzes & E. M. Walter (Eds.), *Active Learning in College Science* (pp. 43–57). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-33600-4_4
- Orden Guaman, C. R., Salinas Rivera, I. K., Paredes Montesdeoca, D. G., Fernández García, D. M., Silva Carrillo, A. G., Bonete León, C. L., & Bernal Párraga, A. P. (2024). Gamificación versus otras estrategias pedagógicas: Análisis comparativo en aprendizaje y motivación. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 8(4), 9939–9957. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i4.13142
- Peters, M., & Fàbregues, S. (2023). Missed opportunities in mixed methods EdTech research? Visual joint display development as an analytical strategy for achieving integration in mixed methods studies. *Educational Technology Research and Development*, 71(3), 1293–1314. <https://doi.org/10.1007/s11423-023-10234-z>
- Stieha, V., Earl, B., Hagens, H., Haynes, M., Ulappa, A., Bond, L., & Oxford, J. T. (2024). An exploration of the relationship between active learning and student motivation in STEM: a mixed methods study. *Advances in Physiology Education*, 48(3), 621-638. <https://doi.org/10.1152/ADVAN.00247.2022>
- Styers, M. L., Van Zandt, P. A., & Hayden, K. L. (2018). Active Learning in Flipped Life Science Courses Promotes Development of Critical Thinking Skills. *CBE — Life Sciences Education*, 17(3), ar39. <https://doi.org/10.1187/cbe.16-11-0332>
- Suryadi, F., & Lukman Hakim, D. (2022). Implementation of Low-Cost Laboratory in Education: A Systematic Literature Review. *Jurnal Teknologi, Kejuruan dan Pengajarannya*, 45(2), 123-132. <https://doi.org/10.17977/um031v45i22022p123-132>
- Téllez-López, A. M., Márquez-Castro, B. Y., Bermúdez-Camps, I. B., Reyes-Hernández, I., López Orozco, M., Gómez-Oliván, L. M., & Hernández-Carrasco, I. R. (2022). Design and validation of questionnaires to measure educational needs about medications in students, parents, and teachers in an elementary school. *Journal of Pharmacy & Pharmacognosy Research*, 10(6), 1058–1075. https://doi.org/10.56499/jppres22.1515_10.6.1058
- Uitto, J., & Saloranta, S. (2022). Active learning strategies for biodiversity science. *Frontiers in Education*, 7, 849300. <https://doi.org/10.3389/educ.2022.849300>
- Urena, J. C., Burkholder, E. W., Kuhn, R. E., & Barnes, M. E. (2024). Time spent on active learning activities does not necessarily improve student performance. *Journal of Microbiology & Biology Education*, 25(2), e00073-24. <https://doi.org/10.1128/jmbe.00073-24>
- Vera-Choqueccota, J., Cong, S., Kato, M., & Mostajo-Radji, M. A. (2025). Reducing education inequalities through cloud-enabled live-cell biotechnology. *Telematics and Informatics Reports*. Recuperado de ScienceDirect: Elsevier. <https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2024.07.015>
- 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>
- Williams, L. C., Choudhury, S. R., Xie, A., & Jewett, M. C. (2020). The genetic code kit: An open-source cell-free platform to teach transcription and translation. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 8, 941. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2020.00941> (<https://doi.org/10.3389/fbioe.2020.00941>)
- Yue, K., McKenna, J., & Jewett, M. C. (2023). Advancing synthetic biology through cell-free protein synthesis. *Current Opinion in Biotechnology*, 80, 102929. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2023.102929> (<https://doi.org/10.1016/j.copbio.2023.102929>)
- Zamora Arana, M. G., Bernal Párraga, A. P., Ruiz Cires, O. A., Cholango Tenemaza, E. G., & Santana Mero, A. P. (2024). Impulsando el aprendizaje en el aula: El rol de aplicaciones adaptativas impulsadas por IA en educación básica. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 8(3), 4301–4318. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i3.11645



Conflicto de intereses:

Los autores declaran que no existe conflicto de interés posible.

Financiamiento:

No existió asistencia financiera de partes externas al presente artículo.

Agradecimiento:

N/A

Nota:

El artículo no es producto de una publicación anterior.