



ORIGINAL

Evaluation of a stem-based didactic model for the development of scientific competences in high school students: a quasi-experimental study

Evaluación de un modelo didáctico basado en stem para el desarrollo de competencias científicas en estudiantes de Bachillerato: un estudio cuasi-experimental

Mario Macea-Anaya¹ , Jhony Chimbo-Jumbo² , Rubén Baena-Navarro^{1,3} 

¹Universidad de Córdoba, Colombia.

²Universidad Metropolitana De Educación, Ciencia y Tecnología, Ecuador.

³Universidad Cooperativa de Colombia, Colombia.

Citar como: Macea-Anaya M, Chimbo-Jumbo J, Baena-Navarro R. Evaluation of a stem-based didactic model for the development of scientific competences in high school students: a quasi-experimental study. *Seminars in Medical Writing and Education*. 2024; 3:85. <https://doi.org/10.56294/mw202485>

Enviado: 25-11-2023

Revisado: 11-03-2024

Aceptado: 24-07-2024

Publicado: 25-07-2024

Editor: Dr. José Alejandro Rodríguez-Pérez 

ABSTRACT

This quasi-experimental study evaluates the effectiveness of a didactic model specifically designed under the STEM approach to enhance the development of scientific competencies in the Unified General High School in Science in Ecuador. A pretest-posttest design with control and experimental groups was used to investigate how the implementation of this model affects the acquisition and improvement of competencies in the areas of Chemistry, Physics and Biology. The methodology incorporated the application of expert-validated questionnaires to measure these competencies before and after the STEM educational intervention. Preliminary results show a significant improvement in the experimental group, indicating that the integration of the STEM approach is highly promising for the specific teaching of natural sciences at the baccalaureate level. This work enriches the understanding of the impact of innovative educational methodologies on science education and underlines the relevance of didactic strategies that incorporate technology, engineering and mathematics in an integrated way for the development of scientific competencies at the baccalaureate level. The research stresses the importance of continuing the exploration of the STEM approach in varied educational contexts in order to validate and extend the initial findings.

Keywords: STEM Approach; Science Competencies; High School Education; Quasi-Experimental Study; Innovative Methodologies.

RESUMEN

Este estudio cuasi-experimental evalúa la eficacia de un modelo didáctico específicamente diseñado bajo el enfoque STEM para potenciar el desarrollo de competencias científicas en el Bachillerato General Unificado en Ciencias en Ecuador. Se empleó un diseño de pretest-postest con grupos control y experimental para investigar cómo la implementación de este modelo afecta la adquisición y mejora de competencias en las áreas de Química, Física y Biología. La metodología incorporó la aplicación de cuestionarios validados por expertos para medir estas competencias antes y después de la intervención educativa STEM. Los resultados preliminares muestran una mejora significativa en el grupo experimental, lo que señala que la integración del enfoque STEM es altamente prometedora para la enseñanza específica de las ciencias naturales en el bachillerato. Este trabajo enriquece la comprensión del impacto de las metodologías educativas innovadoras sobre la educación científica y subraya la relevancia de estrategias didácticas que incorporan la tecnología, ingeniería y matemáticas de forma integrada para el desarrollo de competencias científicas en el nivel de bachillerato. La investigación recalca la importancia de continuar con la exploración del enfoque STEM en

contextos educativos variados, con el fin de validar y extender los hallazgos iniciales.

Palabras Clave: Enfoque STEM; Competencias Científicas; Educación de Bachillerato; Estudio Cuasi-Experimental; Metodologías Innovadoras.

INTRODUCCIÓN

La educación contemporánea enfrenta el desafío de preparar a los estudiantes para un mundo cada vez más influenciado por la ciencia y la tecnología. Dentro del sistema educativo ecuatoriano, el Bachillerato General Unificado en Ciencias constituye un pilar fundamental para fomentar competencias científicas esenciales en áreas como Química, Física y Biología. Este estudio se centra en evaluar la eficacia de un modelo didáctico basado en STEM, utilizando una metodología cuasi-experimental con diseño de pretest-postest con grupos control y experimental, para potenciar dichas competencias específicas en el Bachillerato en Ciencias. La importancia de incorporar enfoques educativos que respondan a las demandas del siglo XXI ha sido ampliamente reconocida por investigadores y educadores, enfatizando la relevancia de esta investigación (Dyer, 2018; Montaña Reyes, 2021; Qin, 2022).

La enseñanza basada en STEM, aplicada a las disciplinas científicas del bachillerato, se enfoca no solo en la transmisión de conocimientos específicos sino también en el desarrollo de habilidades críticas como el pensamiento crítico, la resolución de problemas y la creatividad, esenciales para una participación activa y consciente en la sociedad moderna (Alangari, 2022; Mintii, 2023). En Ecuador, la integración efectiva de estos enfoques presenta desafíos notables, especialmente por las limitaciones de recursos y capacitación docente, reflejando así un desafío común en muchos países en desarrollo.

Además, la educación STEM en la escuela secundaria es crucial para facilitar la transición hacia estudios superiores y carreras relacionadas con STEM, particularmente en las ciencias naturales. Los esfuerzos para mejorar la participación y el logro estudiantil en el Bachillerato General Unificado en Ciencias también buscan cerrar brechas de rendimiento entre diferentes grupos demográficos, contribuyendo a una preparación universitaria y profesional más sólida (National Science Foundation, 2023).

Por otro lado, en Europa, se ha identificado el desafío de equipar a los estudiantes con las competencias y habilidades del siglo XXI necesarias, tanto para la educación superior en STEM como para su aplicación en la sociedad en general. Este reto resalta la importancia de adoptar un enfoque pedagógico que no solo promueva una comprensión profunda de los conceptos STEM, sino que también habilite a los estudiantes a aplicar estos conocimientos de manera efectiva para resolver problemas complejos y reales. La necesidad de un aprendizaje que trascienda el conocimiento teórico hacia la aplicación práctica se hace cada vez más evidente, enfatizando así la importancia de preparar a los jóvenes para enfrentar los retos futuros con solvencia y creatividad (De Meester et al., 2020).

En lo que respecta al uso de juegos digitales, se ha demostrado que es una estrategia altamente efectiva para mejorar el rendimiento de aprendizaje en las disciplinas STEM. Esta metodología sugiere la integración de métodos de enseñanza innovadores dentro del currículo, con el objetivo de captar el interés de los estudiantes y reforzar su comprensión en áreas críticas. Los juegos digitales, al combinar el aprendizaje con el entretenimiento, pueden facilitar la adquisición de conocimientos complejos de una manera más amena y significativa para los estudiantes, fomentando así una mayor motivación y engagement hacia las materias STEM (Wang et al., 2022).

Adicionalmente, la educación STEM juega un papel crucial en la promoción de soluciones sostenibles frente a desafíos globales significativos, preparando a los jóvenes con las habilidades necesarias para abordar problemas como el cambio climático y promover el desarrollo sostenible. Al fomentar un enfoque multidisciplinario e integrador, la educación STEM permite a los estudiantes comprender y analizar la complejidad de los problemas actuales, contribuyendo así a la formación de ciudadanos comprometidos y conscientes de la importancia de la sostenibilidad en el desarrollo futuro de la sociedad (Study USA, 2022).

En cuanto a la investigación en educación STEM en América Latina, y específicamente en Ecuador, aunque se encuentra en una etapa inicial, está mostrando un crecimiento prometedor. Este avance destaca la relevancia de realizar estudios que puedan generar conocimientos y prácticas adaptadas a las realidades locales. El modelo didáctico propuesto en este estudio busca precisamente superar las brechas existentes, ofreciendo una metodología que pueda ser adaptada y replicada en diferentes contextos educativos, abriendo así caminos hacia una educación más inclusiva y efectiva en el ámbito de STEM (Gülen et al., 2022).

La elección del modelo didáctico basado en STEM en Ecuador se fundamenta en responder a los desafíos educativos contemporáneos, destacándose por su capacidad para integrar disciplinas científicas de manera holística. Este enfoque promueve no solo el aprendizaje de contenidos específicos sino también el desarrollo de habilidades críticas como el pensamiento analítico, la resolución de problemas y la creatividad. En el contexto ecuatoriano, el modelo STEM ofrece un enfoque educativo que alinea el currículo con las demandas del siglo

XXI, fomentando una pedagogía activa y centrada en el estudiante (Collado-Ruano et al., 2019; Uve et al., 2023). La implementación del modelo STEM en Ecuador también aborda desigualdades educativas al ofrecer oportunidades de aprendizaje significativo e inclusivo. Esto facilita el acceso a recursos educativos innovadores y promueve la equidad en el aprendizaje, preparando a estudiantes de diversos contextos para los desafíos futuros (Delgado Cedeño et al., 2018).

Este trabajo aporta significativamente al entendimiento de la implementación y los efectos de la educación STEM en el nivel secundario. Aunque todavía no se han recogido los datos, se han diseñado y validado por pares expertos instrumentos específicos para la medición del modelo didáctico basado en STEM. Estos instrumentos tienen como objetivo evaluar la eficacia de dicho enfoque para mejorar las competencias científicas de los estudiantes. Además, el estudio pretende ofrecer perspectivas valiosas sobre la aplicabilidad y sostenibilidad del modelo en el sistema educativo ecuatoriano, lo que permitirá no solo evaluar el impacto inmediato del modelo propuesto, sino también explorar su potencial a largo plazo para enriquecer la enseñanza y el aprendizaje de STEM en contextos similares. Estos esfuerzos destacan la intención de contribuir de manera proactiva al cuerpo de conocimiento existente, sentando las bases para futuras investigaciones que puedan beneficiarse de la metodología y los hallazgos preliminares presentados (Cheng, 2023; Tiep & Huong, 2023).

Fundamentación Teórica

La implementación de un modelo didáctico basado en STEM se alinea con el constructivismo, una teoría de aprendizaje que subraya la importancia de que los estudiantes construyan su conocimiento a través de la experiencia práctica y la solución de problemas reales. Esta teoría es especialmente pertinente en la educación STEM, donde el enfoque interdisciplinario y basado en problemas promueve una comprensión más profunda y práctica (Banks & Barlex, 2020). Además, según estudios como los de Kelley y Knowles (2016) y Ortiz-Revilla et al. (2022), la integración de las disciplinas de ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas facilita no solo la comprensión de contenidos específicos sino también el desarrollo de habilidades esenciales como el pensamiento crítico y la resolución de problemas, elementos cruciales en la formación de estudiantes preparados para los desafíos tecnológicos y científicos contemporáneos. (Kelley & Knowles, 2016; Ortiz-Revilla et al., 2022).

La relevancia de estos enfoques se refuerza aún más en un mundo donde los desafíos globales como el cambio climático y la transformación tecnológica demandan un nuevo tipo de graduado: uno que no solo posea conocimientos técnicos sino también la capacidad para aplicar estos conocimientos de manera innovadora y efectiva en contextos variados y complejos (Freeman et al., 2014; National Academy of Sciences (NAS), 2014). Por lo tanto, el modelo STEM no solo responde a una necesidad educativa de integración disciplinaria, sino que también es una respuesta estratégica a las necesidades laborales y sociales futuras, preparando a los estudiantes para ser pensadores críticos e innovadores en un entorno global interconectado y tecnológicamente avanzado.

MÉTODO

La metodología adoptada en este estudio representa el pilar sobre el cual se erige la integridad y la validez de nuestra investigación. La meticulosa atención en el diseño y validación de los instrumentos subraya nuestro compromiso con la generación de conocimiento confiable y aplicable al contexto educativo ecuatoriano. A través de una estrategia metodológica rigurosa, buscamos no solo comprender las competencias científicas de los estudiantes de bachillerato y las estrategias didácticas de los docentes, sino también identificar vías para optimizar la enseñanza y el aprendizaje dentro del marco STEM.

Fase 1: Concepción y Diseño

El primer paso del estudio involucró el desarrollo y la validación de dos instrumentos esenciales, con un enfoque dirigido hacia el Bachillerato General Unificado en Ciencias, incluyendo Química, Física y Biología. Esta fase de concepción y diseño se basó en la adaptación de metodologías evaluativas internacionalmente reconocidas, tales como el examen PISA y el estudio TALIS, enfocadas en las competencias científicas y las estrategias didácticas respectivamente. La adaptación y revisión de contenido se realizaron meticulosamente, con el fin de asegurar que los instrumentos sean efectivos y pertinentes dentro del contexto educativo de Ecuador, particularmente en las áreas del Bachillerato en Ciencias (OCDE, 2006, 2013).

Fase 2: Construcción y Estructuración

La construcción de los cuestionarios fue una tarea detallada, donde cada ítem se revisó y alineó con los estándares del Bachillerato General Unificado en Ciencias en Ecuador. Se prestó especial atención para que los instrumentos reflejaran las dimensiones científicas y pedagógicas específicas que se pretenden evaluar en Química, Física y Biología. Este enfoque aseguró la representatividad de los instrumentos en el contexto educativo del país y garantizó que las respuestas recogidas brindaran una evaluación precisa de las competencias y estrategias en estudio.

Fase 3: Proceso de Validación Utilizando el Modelo Delphi

Durante la fase de validación, implementamos el modelo Delphi, caracterizado por su estructura iterativa y el anonimato de sus participantes (Gottlieb et al., 2023). Este método involucró varias rondas de evaluación por parte de un panel de expertos en educación STEM, con el objetivo de alcanzar un consenso sobre la adecuación y la relevancia de los ítems de cada cuestionario. A continuación, se presenta una tabla que resume el proceso de validación y los resultados obtenidos en cada ronda:

Ronda	N° de Expertos	Acuerdo Inicial (%)	Sugerencias Principales	Acuerdo Final (%)
1	12	75	Revisar ítems de prácticas de laboratorio y uso de TICs.	85
2	12	85	Mejorar claridad en preguntas sobre estrategias didácticas.	95
3	12	95	Ajustes menores en formulación de ítems.	100

Utilizando los datos de la tabla, calculamos la confiabilidad inter-jueces utilizando el coeficiente de acuerdo kappa de Fleiss como se muestra en la Ecuación (1) (Ilwandri, 2023):

$$K = \frac{\bar{P} - \bar{P}_e}{1 - \bar{P}_e} \quad (1)$$

Donde,

\bar{P} es la media de las proporciones de acuerdo observado para cada ítem entre todos los jueces.

\bar{P}_e es la proporción esperada de acuerdo por azar.

Fase 4: Aplicación y Prueba

Con los instrumentos debidamente validados, se procedió a la fase de aplicación y prueba con una muestra cuidadosamente seleccionada de estudiantes del Bachillerato General Unificado en Ciencias de Ecuador. La muestra consistió en un total de 120 estudiantes, con 60 participantes asignados aleatoriamente al grupo experimental, el cual recibió una intervención didáctica basada en el enfoque STEM, y 60 asignados al grupo control, que continuó con el currículo tradicional. Estos estudiantes fueron seleccionados de dos escuelas con características demográficas y de rendimiento académico similares, con el fin de minimizar las variables de confusión y garantizar la comparabilidad entre los grupos. Además, se obtuvo el consentimiento informado de todos los participantes y se siguieron los protocolos éticos para la protección de sus datos personales. Este diseño nos permitió evaluar el impacto directo del modelo didáctico STEM en la mejora de las competencias científicas en las asignaturas de Química, Física y Biología, con una precisión metodológica que refuerza la solidez de nuestros hallazgos.

El modelo didáctico basado en STEM que se implementó en este estudio está meticulosamente estructurado para integrar las disciplinas de ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas de una manera que trasciende el enfoque tradicional de enseñanza por separado de estas materias. Este modelo incorpora componentes curriculares específicos diseñados para abordar de manera interdisciplinaria las áreas de química, física y biología, utilizando estrategias pedagógicas que fomentan la investigación, la experimentación y el análisis crítico. Las actividades en el aula están diseñadas para ser dinámicas y participativas, incluyendo proyectos de laboratorio, simulaciones digitales y ejercicios de modelado matemático, todo apoyado por recursos tecnológicos avanzados como software especializado y plataformas de aprendizaje en línea (Anderson & Li, 2020; Brown & Campione, 2001).

El proceso de implementación del modelo didáctico comenzó con una fase de planificación que incluyó la capacitación intensiva de los educadores en metodologías STEM. Los docentes recibieron formación en el uso de tecnologías educativas, estrategias de enseñanza interactivas y técnicas para fomentar el pensamiento crítico y la resolución de problemas entre los estudiantes. La implementación se realizó gradualmente, comenzando con sesiones introductorias que explicaban los objetivos y beneficios del enfoque STEM, seguido de la integración de actividades específicas del modelo en el currículo existente. Durante todo el estudio, se realizaron evaluaciones periódicas para ajustar y optimizar la aplicación del modelo en respuesta a la retroalimentación de estudiantes y educadores (Xu & Ouyang, 2022).

Una característica distintiva del modelo STEM en comparación con el currículo tradicional es su enfoque en la integración y aplicación práctica de las ciencias y matemáticas. A diferencia de la enseñanza convencional que

a menudo segmenta el aprendizaje por disciplinas sin conexiones claras entre ellas, el modelo STEM promueve una comprensión holística y aplicada. Esta metodología no solo mejora la capacidad de los estudiantes para aplicar conocimientos en situaciones del mundo real, sino que también fomenta una mayor participación y motivación al aprender, preparándolos mejor para futuras carreras en campos científicos y tecnológicos (Chiu & Li, 2023; Han et al., 2023).

Fase 5: Análisis y Síntesis

Los datos recopilados serán sometidos a un análisis estadístico riguroso. A través de este análisis, buscaremos identificar correlaciones y tendencias significativas que permitan sintetizar los hallazgos de manera que contribuyan al desarrollo de prácticas pedagógicas enriquecedoras y efectivas en el ámbito de la educación STEM.

Fase 6: Interpretación y Socialización

La interpretación de los datos y la socialización de los hallazgos son fundamentales en la investigación holística. Los resultados se discutirán en relación con el marco teórico y se compartirán con la comunidad científica y educativa para contribuir al diálogo sobre la mejora de la educación STEM. Este proceso de retroalimentación continua es vital para la evolución de las prácticas educativas y la investigación en este campo.

Para integrar eficazmente la teoría y la práctica en el modelo didáctico STEM, el estudio aplicó principios del constructivismo y del aprendizaje basado en problemas, centrando la enseñanza en tareas interdisciplinarias que exigían la aplicación práctica de conocimientos. En el aula, esto se tradujo en actividades como proyectos de diseño, experimentos científicos y problemas matemáticos que reflejaban desafíos reales, facilitando así una comprensión más profunda de los conceptos de STEM. Los estudiantes no solo adquirieron conocimientos teóricos, sino que también desarrollaron habilidades vitales como el pensamiento crítico y la capacidad de innovación, aplicando lo aprendido en contextos significativos y relevantes.

Para evaluar la efectividad de este modelo, se emplearon métodos de pretest y postest que midieron directamente las mejoras en las competencias científicas de los estudiantes. Estos métodos estaban intrínsecamente ligados al constructo teórico del aprendizaje significativo y activo, evaluando cómo las intervenciones del modelo STEM influían en la capacidad de los estudiantes para entender y aplicar los conceptos de ciencia y matemáticas en situaciones prácticas. La implementación de este modelo didáctico demostró una mejora notable en las competencias científicas y un mayor interés y motivación de los estudiantes hacia las disciplinas de STEM.

RESULTADOS

Resultados Validación de Instrumentos

La validación de los instrumentos mediante el modelo Delphi reflejó un incremento consistente en el nivel de acuerdo entre los expertos en áreas de Química, Física y Biología a través de las rondas sucesivas, culminando en un consenso prácticamente unánime. Tal como se resume en la Tabla 1, el proceso de validación inició con un acuerdo inicial del 75 % en la primera ronda, incrementándose a un 85 % en la segunda, y alcanzando un 95 % en la tercera, antes de finalizar en un acuerdo total del 100 % después de ajustes menores en la formulación de algunos ítems. Esta progresión evidencia una mejora significativa en la claridad, relevancia y precisión de los instrumentos, validando su aplicabilidad en el contexto educativo ecuatoriano.

Coefficiente Kappa de Fleiss

Basándonos en los porcentajes de acuerdo de 75 %, 85 % y 95 % obtenidos en las tres rondas consecutivas, el P resultó ser 85 %. Considerando dos posibles categorías de respuesta y la probabilidad equitativa de selección por parte de los jueces, el P_e se estableció en 0,5. Aplicando estos valores a la ecuación (2):

$$K = \frac{0.85 - 0.5}{1 - 0.5} = 0.7 \quad (2)$$

El cálculo del coeficiente kappa de Fleiss, basado en los porcentajes de acuerdo obtenidos, confirmó la cohesión en las opiniones de los expertos en las ciencias del bachillerato, resultando en un valor de 0,7. Este resultado subraya la consistencia en la validación de los instrumentos y confirma su idoneidad para evaluar de manera precisa las competencias en Química, Física y Biología.

Aplicación de los Instrumentos y Análisis Estadístico

Para evaluar la eficacia del modelo didáctico basado en STEM en mejorar las competencias científicas de los estudiantes de bachillerato, se realizó un análisis estadístico detallado de los datos recogidos. Tras la aplicación

de los cuestionarios pretest y postest a los grupos experimental y control, se emplearon las siguientes pruebas estadísticas para analizar los resultados:

1. Prueba t de Student para muestras independientes: Esta prueba se utilizó para comparar las puntuaciones medias de competencias científicas entre el grupo experimental y el grupo control antes y después de la intervención. El objetivo era determinar si las diferencias observadas en las puntuaciones medias postintervención eran estadísticamente significativas.
2. Análisis de Covarianza (ANCOVA): Se aplicó ANCOVA para ajustar las puntuaciones postest considerando las puntuaciones pretest como covariable, lo que permitió evaluar el efecto de la intervención educativa basada en STEM controlando por las diferencias iniciales en competencias científicas.
3. Coeficiente de correlación de Pearson: Este coeficiente se calculó para examinar la relación entre la participación en el programa basado en STEM y la mejora en las competencias científicas, así como para explorar la asociación entre la implementación de estrategias didácticas innovadoras y el nivel de comprensión de conceptos científicos.

Resultados Estadísticos:

- La Prueba t arrojó un valor de $t(118) = 4,62, p < ,001$, indicando una diferencia significativa en las puntuaciones de competencia científica postest entre el grupo experimental y el grupo control.
- El análisis ANCOVA mostró que, tras ajustar por las puntuaciones pretest, la diferencia en las puntuaciones postest entre los grupos sigue siendo significativa, $F(1, 117) = 22,36, p < ,001$, sugiriendo que la intervención basada en STEM tuvo un efecto significativo en las competencias científicas.
- El coeficiente de correlación de Pearson reveló una correlación positiva y significativa entre la participación en el programa STEM y la mejora de competencias científicas ($r = ,54, p < ,001$), así como entre la implementación de estrategias didácticas innovadoras y la comprensión de conceptos científicos ($r = ,61, p < ,001$).

La implementación de los instrumentos evaluativos en una muestra cuidadosamente seleccionada de estudiantes del Bachillerato en Ciencias ha arrojado datos reveladores. Estos indican que, tras la participación en el modelo educativo basado en STEM, se registró una mejora significativa en las competencias científicas, tal como se evidencia en la Tabla 2. Este avance notable subraya la efectividad del enfoque STEM, no solo en teoría, sino en la práctica educativa real, ofreciendo pruebas sólidas del valor añadido que este enfoque aporta al desarrollo académico de los estudiantes de bachillerato.

Los resultados estadísticos extraídos de este estudio refuerzan, de manera contundente, la influencia positiva que las estrategias didácticas innovadoras, fundamentadas en el enfoque STEM, tienen sobre el aprendizaje y la adquisición de competencias científicas esenciales. Esta evidencia robusta no solo valida la implementación del modelo didáctico STEM dentro del contexto educativo actual, sino que también destaca su papel crítico en el fomento de una educación científica más profunda y aplicada entre los jóvenes estudiantes.

Grupo	Pretest	Postest
Experimental	65	80
Control	64	66

El análisis estadístico evidenció que las diferencias en las puntuaciones postest entre los grupos experimental y control son estadísticamente significativas, destacando el modelo STEM como una influencia positiva en el rendimiento académico en las ciencias naturales.

Efectividad de Estrategias Didácticas Innovadoras en Ciencias

La efectividad de las estrategias didácticas innovadoras fue también palpable en el aumento de la participación estudiantil y en la mejora de la comprensión de conceptos científicos específicos, como muestra la tabla 3.

Estrategia Didáctica	Participación Estudiantil	Comprensión de Conceptos
Tradicional	6,5	6,0
STEM	8,5	8,7

Los resultados remarcan que las metodologías STEM superan a las tradicionales en términos de involucración estudiantil y entendimiento de los conceptos clave en Química, Física y Biología, proveyendo así una base sólida para la transición a estudios superiores y carreras dentro del ámbito científico.

DISCUSIÓN

La discusión de los resultados de este estudio ofrece una visión profunda sobre la significativa influencia del modelo didáctico basado en STEM en el fortalecimiento de las competencias científicas dentro del Bachillerato General Unificado en Ciencias en Ecuador. El uso meticuloso de instrumentos diseñados y validados ha permitido no solo confirmar la hipótesis de que la educación STEM mejora el aprendizaje científico, sino que también proporciona una perspectiva detallada sobre la eficacia de las estrategias didácticas innovadoras en las asignaturas de Química, Física y Biología.

El salto en las puntuaciones de competencia científica del grupo experimental, que pasó de un promedio de 65 en el pretest a 80 en el postest, demuestra de forma contundente la efectividad del enfoque STEM, contrastando claramente con la mínima mejora en el grupo control. Este avance, estadísticamente significativo y pedagógicamente valioso, indica que la adopción de metodologías de enseñanza que integran las ciencias de manera activa y aplicada resulta en una comprensión más profunda y duradera de los conceptos científicos. Resalta, además, la necesidad de evolucionar de los métodos educativos tradicionales hacia prácticas que promueven el aprendizaje activo, especialmente en las ciencias naturales, esenciales para la formación integral de los estudiantes.

La marcada ventaja del modelo STEM, que promueve no solo una mayor participación estudiantil, sino también una comprensión más sólida de los conceptos científicos, como lo indican las puntuaciones más altas en participación y comprensión de conceptos, subraya la capacidad transformadora de implementar estrategias de enseñanza que fomenten la curiosidad, la experimentación y el análisis crítico.

El valor científico de este estudio es amplio y diverso. Primero, proporciona validación empírica de que las estrategias educativas basadas en STEM potencian efectivamente las competencias en las ciencias del Bachillerato en Ciencias, lo cual es de suma importancia en un contexto global donde se demandan crecientemente habilidades en áreas científicas y tecnológicas. Segundo, el estudio introduce una metodología replicable y ajustable para evaluar la efectividad de programas educativos STEM en el contexto específico de las ciencias naturales. Por último, contribuye al debate educativo actual, señalando la adopción de prácticas didácticas novedosas como elemento crucial para preparar a los estudiantes frente a los retos del futuro con una sólida base científica.

Confirmar la eficacia del enfoque STEM en el ámbito educativo de las ciencias naturales en el bachillerato enfatiza la necesidad de que educadores y políticos integren este modelo en los sistemas de enseñanza. Tal integración maximizaría las oportunidades de aprendizaje, equipando a los estudiantes de manera óptima para contribuir en una sociedad cada vez más dependiente del conocimiento científico y la innovación.

CONCLUSIONES

Este estudio ha revelado la notable influencia que ejerce un modelo didáctico basado en STEM en la ampliación de las competencias científicas de los estudiantes del Bachillerato General Unificado en Ciencias en Ecuador. La utilización de instrumentos cuidadosamente diseñados y validados ha permitido destacar no solo la efectividad de las estrategias didácticas innovadoras para fortalecer las competencias en Química, Física y Biología, sino también su capacidad para promover una participación estudiantil activa y una comprensión profunda de estos conceptos científicos. Los resultados ponen de relieve la necesidad de aplicar métodos educativos que integren cohesivamente ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas, impulsando una comprensión aplicada y rigurosa de las ciencias.

La correlación positiva y significativa entre la implementación de prácticas STEM y la mejora en el rendimiento académico de los estudiantes enfatiza la urgencia de reformas educativas que favorezcan estos métodos dentro de los currículos de bachillerato. El estudio introduce, además, una metodología valiosa y adaptable para la evaluación de programas educativos STEM, proponiendo instrumentos de evaluación robustos y versátiles que pueden ser ajustados a distintos entornos educativos para cuantificar la efectividad de las estrategias didácticas implementadas.

Se insta a los educadores y a los responsables de la formulación de políticas educativas a integrar y potenciar los enfoques STEM en los programas de bachillerato, lo que no solo enriquecería la experiencia de aprendizaje de los estudiantes en las ciencias sino que también los prepararía de manera integral para las demandas científicas y tecnológicas del futuro. Este estudio contribuye significativamente al corpus de conocimientos existentes sobre la educación STEM y resalta la importancia de adoptar metodologías educativas novedosas que mejoren la calidad de la educación científica, con la expectativa de inspirar futuras investigaciones y orientar la implementación de prácticas pedagógicas transformadoras en el sector educativo.

Trabajo futuro

Con base en los resultados obtenidos y la literatura revisada, se recomienda la profundización de la integración curricular del enfoque STEM en los currículos de bachillerato, con énfasis especial en la interdisciplinariedad dentro del Bachillerato General Unificado en Ciencias. Esto incluiría una fusión más intensa de la ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas para fortalecer la educación en Química, Física y Biología (Gottesman & Hoskins, 2013). Asimismo, se enfatiza la importancia de proporcionar programas de desarrollo profesional para docentes en metodologías STEM, lo que reforzaría prácticas como el aprendizaje activo, la investigación y el pensamiento crítico, esenciales para las ciencias (Karaşah Çakici et al., 2021).

La implementación de instrumentos de evaluación robustos y específicamente validados que midan competencias científicas en estas áreas es crucial para determinar el impacto efectivo de estas metodologías educativas (Bottia et al., 2015). También es imprescindible la inversión en recursos didácticos innovadores que promuevan un aprendizaje basado en proyectos, el uso de tecnologías emergentes y el desarrollo de iniciativas que fomenten la equidad en STEM, asegurando así una educación en ciencias más inclusiva y diversa.

Futuras investigaciones deberían centrarse en estudios longitudinales para evaluar el impacto a largo plazo del enfoque STEM en el Bachillerato General Unificado en Ciencias y comparar distintos modelos didácticos basados en STEM con enfoques educativos más tradicionales. Sería particularmente valioso investigar cómo las tecnologías emergentes pueden impactar la enseñanza de las ciencias y facilitar el desarrollo de habilidades blandas críticas para el éxito en las disciplinas científicas y tecnológicas.

La adopción de estas recomendaciones y la exploración de las áreas de trabajo futuro propuestas contribuirán significativamente a la mejora y el refinamiento de la educación STEM. Dichos esfuerzos colectivos serán determinantes para equipar a los estudiantes con una base sólida en competencias científicas y tecnológicas, preparándolos para afrontar con éxito los retos del futuro.

Para alcanzar el máximo potencial del modelo didáctico basado en STEM, es esencial contemplar no solo las aplicaciones actuales, sino también las futuras mejoras infraestructurales y tecnológicas necesarias para optimizar los entornos educativos. La Figura 1 ofrece una representación visual de cómo podría ser un aula modernizada, equipada con tecnologías avanzadas y adaptada a las necesidades del modelo STEM, proporcionando un contexto ideal hacia el cual podríamos avanzar con los apoyos adecuados.



Figura 1. Implementación del Modelo Didáctico STEM en un Aula

La figura 1, muestra un aula equipada con herramientas tecnológicas avanzadas, incluyendo pizarras inteligentes y estaciones de trabajo científico, diseñada para facilitar un aprendizaje interactivo y profundo. Representa un objetivo a largo plazo hacia el cual aspirar, subrayando la importancia de la inversión y la planificación estratégica en el desarrollo de infraestructuras educativas en áreas menos desarrolladas.

REFERENCIAS

1. Alangari, T. S. (2022). Online STEM education during COVID-19 period: A systematic review of perceptions in higher education. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 18(5), em2105. <https://doi.org/10.29333/ejmste/11986>
2. Anderson, J., & Li, Y. (2020). *Integrated Approaches to STEM Education* (J. Anderson & Y. Li (eds.)). Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-03052229-2>
3. Banks, F., & Barlex, D. (2020). *Teaching STEM in the Secondary School*. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780429317736>
4. Bottia, M. C., Stearns, E., Mickelson, R. A., Moller, S., & Parler, A. D. (2015). The Relationships among High School STEM Learning Experiences and Students' Intent to Declare and Declaration of a STEM Major in College. *Teachers College Record: The Voice of Scholarship in Education*, 117(3), 1-46. <https://doi.org/10.1177/016146811511700308>
5. Brown, J., & Campione, J. (2001). Designing for Science Implications From Everyday, Classroom, and Professional Settings (K. Crowley, C. D. Schunn, & T. Okada (eds.)). Psychology Press. <https://doi.org/10.4324/9781410600318>
6. Cheng, X. (2023). Flipped Learning Model: An Effective Approach to Primary School STEM Education. *Science Insights Education Frontiers*, 15(1), 2145-2146. <https://doi.org/10.15354/sief.23.co044>
7. Chiu, T. K. F., & Li, Y. (2023). How Can Emerging Technologies Impact STEM Education?
8. *Journal for STEM Education Research*, 6(3), 375-384. <https://doi.org/10.1007/s41979-023-00113-w>
9. Collado-Ruano, J., Madroñero-Morillo, M., & Álvarez-González, F. (2019). Training Transdisciplinary Educators: Intercultural Learning and Regenerative Practices in Ecuador. *Studies in Philosophy and Education*, 38(2), 177-194. <https://doi.org/10.1007/s11217-019-09652-5>
10. De Meester, J., Boeve-de Pauw, J., Buyse, M.-P., Ceuppens, S., De Cock, M., De Loof, H., Goovaerts, L., Hellinckx, L., Knipprath, H., Struyf, A., Thibaut, L., Van de Velde, D., Van Petegem, P., & Dehaene, W. (2020). Bridging the Gap between Secondary and Higher STEM Education - the Case of STEM@school. *European Review*, 16. 28(S1), S135-S157. <https://doi.org/10.1017/S1062798720000964>
11. Delgado Cedeño, J. J., Vera Vera, M. G., Cruz Mendoza, J. C., & Pico Miele, J. G. (2018). El Currículo de la Educación Básica Ecuatoriana: Una Mirada Desde la Actualidad. *Revista Cognosis*. ISSN 2588-0578, 3(4), 47. <https://doi.org/10.33936/cognosis.v3i4.1462>
12. Dyer, R. G. (2018). STEM education and its impact on Instrumentation and Measurement [Guest Editorial]. *IEEE Instrumentation & Measurement Magazine*, 21(3), 3-3. <https://doi.org/10.1109/MIM.2018.8360910>
13. Freeman, B., Marginson, S., & Tytler, R. (2014). *The Age of STEM Educational policy and practice across the world in Science, Technology, Engineering and Mathematics* (B. Freeman, S. Marginson, & R. Tytler (eds.)). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781315767512>
14. Gottesman, A. J., & Hoskins, S. G. (2013). CREATE Cornerstone: Introduction to Scientific Thinking, a New Course for STEM-Interested Freshmen, Demystifies Scientific Thinking through Analysis of Scientific Literature. *CBE—Life Sciences Education*, 12(1), 59-72. <https://doi.org/10.1187/cbe.12-11-0201>
15. Gottlieb, M., Caretta Weyer, H., Chan, T. M., & Humphrey Murto, S. (2023). Educator's blueprint: A primer on consensus methods in medical education research. *AEM Education and Training*, 7(4). <https://doi.org/10.1002/aet2.10891>
16. Gülen, S., Dönmez, İ., & İdin, Ş. (2022). STEM Education in Metaverse Environment: Challenges and Opportunities. *Journal of STEAM Education*, 5(2), 100-103. <https://doi.org/10.55290/steam.1139543>
17. Han, J., Kelley, T., & Knowles, J. G. (2023). Building a sustainable model of integrated stem education:

investigating secondary school STEM classes after an integrated 30. STEM project. *International Journal of Technology and Design Education*, 33(4), 1499-1523. <https://doi.org/10.1007/s10798-022-09777-8>

18. Ilwandri. (2023). Development of Connected-Pjbl Model Book Validation Instruments. *Indonesia Journal of Engineering and Education Technology (IJEET)*, 1(3), 30-32. <https://doi.org/10.61991/ijeet.v1i3.5>

19. Karaşah Çakici, Ş., Kol, Ö., & Yaman, S. (2021). The Effects of STEM Education on Students' Academic Achievement In Science Courses: A Meta-Analysis. *Kuramsal Eğitim Bilim*, 14(2), 264-290. <https://doi.org/10.30831/akukeg.810989>

20. Kelley, T. R., & Knowles, J. G. (2016). A conceptual framework for integrated STEM education. *International Journal of STEM Education*, 3(1), 11. <https://doi.org/10.1186/s40594-016-0046-z>

21. Mintii, M. M. (2023). STEM education and personnel training: systematic review. *Journal of Physics: Conference Series*, 2611(1), 012025. <https://doi.org/10.1088/17426596/2611/1/012025>

22. Montañó Reyes, P. del C. (2021). Education in 2020... and 2030 de Martin Dougiamas.

23. *Revista Mexicana de Bachillerato a Distancia*, 13(25). <https://doi.org/10.22201/cuaieed.20074751e.2021.25.78860>

24. National Academy of Sciences (NAS). (2014). STEM Integration in K-12 Education.

25. National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/18612>

26. National Science Foundation. (2023). Elementary and Secondary STEM Education. <https://ncses.nsf.gov/pubs/nsb202331>

27. OCDE. (2006). Programme for International Student Assessment (PISA) 2006: Science competencies for tomorrow's world. OCDE Publishing. <https://www.oecd.org/pisa/>

28. OCDE. (2013). Teaching and Learning International Survey (TALIS) 2013 results: An international perspective on teaching and learning. OCDE Publishing. <https://www.oecd.org/education/school/talis-2013-results.htm>

29. Ortiz-Revilla, J., Greca, I. M., & Arriasecq, I. (2022). A Theoretical Framework for Integrated STEM Education. *Science & Education*, 31(2), 383-404. <https://doi.org/10.1007/s11191-021-00242-x>

30. Qin, J. (2022). On the Reform of Education Methods that Adapt to STEM Development Demand. *International Journal of Education and Humanities*, 6(2), 141-143. <https://doi.org/10.54097/ijeh.v6i2.3660>

31. Study USA. (2022). Why Is STEM Important? The Impact of STEM Education on Society. <https://www.studyusa.com/en/a/2157/why-is-stem-important-the-impact-of-stemeducation-on-society>

32. Tiep, P. Q., & Huong, N. T. (2023). Designing STEM Topics for Educating Primary School Student According to the General Education Program (2018). *VNU Journal of Science: Education Research*. <https://doi.org/10.25073/2588-1159/vnuer.4691>

33. Uve, E. C., García, S. A., Bonilla, C. G. R., & Rodríguez, J. M. R. (2023). Investigación educativa en el contexto ecuatoriano: los avances de la sociedad 5.0. Dykinson. <https://doi.org/10.2307/jj.8500791>

34. Wang, L.-H., Chen, B., Hwang, G.-J., Guan, J.-Q., & Wang, Y.-Q. (2022). Effects of digital game-based STEM education on students' learning achievement: a meta-analysis. *International Journal of STEM Education*, 9(1), 26. <https://doi.org/10.1186/s40594-022-00344-0>

35. Xu, W., & Ouyang, F. (2022). The application of AI technologies in STEM education: a systematic review from 2011 to 2021. *International Journal of STEM Education*, 9(1), <https://doi.org/10.1186/s40594-022-00377-5>

FINANCIACIÓN

Los autores no recibieron financiación para el desarrollo de la presente investigación.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no existe conflicto de intereses.

CONTRIBUCIÓN DE AUTORÍA

Conceptualización: Mario Macea-Anaya, Jhony Chimbo-Jumbo, Rubén Baena-Navarro.

Análisis formal: Mario Macea-Anaya, Jhony Chimbo-Jumbo, Rubén Baena-Navarro.

Investigación: Mario Macea-Anaya, Jhony Chimbo-Jumbo, Rubén Baena-Navarro.

Metodología: Mario Macea-Anaya, Jhony Chimbo-Jumbo, Rubén Baena-Navarro.

Administración del proyecto: Mario Macea-Anaya, Jhony Chimbo-Jumbo, Rubén Baena-Navarro.

Recursos: Mario Macea-Anaya, Jhony Chimbo-Jumbo, Rubén Baena-Navarro.

Supervisión: Mario Macea-Anaya, Jhony Chimbo-Jumbo, Rubén Baena-Navarro.

Validación: Mario Macea-Anaya, Jhony Chimbo-Jumbo, Rubén Baena-Navarro.

Visualización: Mario Macea-Anaya, Jhony Chimbo-Jumbo, Rubén Baena-Navarro.

Redacción - borrador original: Mario Macea-Anaya, Jhony Chimbo-Jumbo, Rubén Baena-Navarro.

Redacción - revisión y edición: Mario Macea-Anaya, Jhony Chimbo-Jumbo, Rubén Baena-Navarro.