

Transformando la educación secundaria: impacto de la modelación matemática en habilidades de pensamiento crítico

Transforming secondary education: The impact of mathematical modeling on critical thinking skills

Irma Aurora Bautista Carrasco

<https://orcid.org/0000-0002-6429-2845>

ibautistac@ucvvirtual.edu.pe

Universidad César Vallejo

Lima-Perú

Luz Estefany De La Cruz Chuchon

<https://orcid.org/0009-0008-2667-0869>

221105363g@uct.pe

Universidad Católica de Trujillo

Trujillo-Perú



Recibido: 20-02-2025 Aceptado: 19-05-2025

2026. V6. N1.

Resumen

El presente estudio tuvo como objetivo evaluar el impacto de la modelación matemática en el desarrollo del pensamiento crítico de estudiantes de secundaria en una institución educativa de Ayacucho durante el año 2023. La muestra, seleccionada por conveniencia, estuvo conformada por 24 alumnos en el grupo experimental y 26 en el grupo control. Ambos grupos realizaron una preprueba; sin embargo, solo el grupo experimental recibió sesiones de modelación matemática. Posteriormente, se aplicó una posprueba para medir los cambios. Los datos se analizaron mediante pruebas no paramétricas: Wilcoxon para comparaciones intragrupal y Mann-Whitney para comparaciones entre grupos. Los resultados mostraron que el grupo experimental presentó mejoras significativas en el pensamiento crítico general ($Z = -4,290$, $p < .001$) y en sus dimensiones lógica ($Z = -4,210$), sustantiva ($Z = -4,298$) y dialógica ($Z = -4,296$), todas con $p < .001$. Las diferencias entre grupos en la posprueba confirmaron el efecto positivo de la modelación matemática, con valores U entre 208 y 301 y significancia $p < .05$ en las dimensiones lógica y sustantiva; la dimensión dialógica mostró una tendencia cercana a la significancia ($p = .061$). En conclusión, la modelación matemática potencia eficazmente el pensamiento crítico en contextos

escolares con recursos limitados, por lo que se recomienda su incorporación sistemática en el currículo y en la formación docente.

Palabras clave: desarrollo educativo, modelación matemática, pensamiento crítico.

Abstract

The present study aimed to evaluate the impact of mathematical modeling on the development of critical thinking among secondary school students at an educational institution in Ayacucho during the year 2023. The sample, selected by convenience, consisted of 24 students in the experimental group and 26 in the control group. Both groups took a pre-test; however, only the experimental group received mathematical modeling sessions. Subsequently, a post-test was applied to measure changes. The data were analyzed using nonparametric tests: Wilcoxon for within-group comparisons and Mann–Whitney for between-group comparisons. The results showed that the experimental group presented significant improvements in general critical thinking ($Z = -4.290$, $p < .001$) and in its logical ($Z = -4.210$), substantive ($Z = -4.298$), and dialogical ($Z = -4.296$) dimensions, all with $p < .001$. The differences between groups on the posttest confirmed the positive effect of mathematical modeling, with U values ranging from 208 to 301 and a significance of $p < .05$ in the logical and substantive dimensions; the dialogic dimension showed a trend close to significance ($p = .061$). In conclusion, mathematical modeling effectively enhances critical thinking in resource-limited school settings, and its systematic incorporation into the curriculum and teacher training is therefore recommended.

Keywords: educational development, mathematical modeling, critical thinking.

Introducción

El pensamiento crítico, definido como la capacidad para evaluar, analizar y resolver problemas de manera reflexiva y fundamentada, se ha consolidado como una habilidad esencial en la formación de estudiantes en todos los niveles educativos (Bezanilla et al., 2018). Entre las diversas estrategias pedagógicas orientadas a fomentar estas competencias, la modelación matemática —proceso que consiste en representar situaciones reales mediante estructuras matemáticas— ofrece un enfoque integrador que estimula la lógica, la creatividad y la toma de decisiones informadas (Abassian et al., 2020). Su importancia radica en que, al involucrar a los alumnos en actividades de contextualización y resolución de problemas, se fortalecen destrezas cognitivas avanzadas indispensables para enfrentar los desafíos académicos y profesionales del siglo XXI.

A nivel internacional, múltiples estudios señalan que los sistemas educativos enfrentan dificultades para incorporar el pensamiento crítico de manera sistemática en los currículos (Deroncele et al., 2021). Por ejemplo, en muchos países la adopción de metodologías basadas en la modelación matemática aún es incipiente, a pesar de su probado potencial para fortalecer la competencia investigativa y la alfabetización científica (Cahyono et al., 2020; Campos & Lopes, 2023). Además, las revisiones bibliográficas indican que los docentes requieren formación continua para diseñar tareas de modelación auténticas y relevantes, ya que, de lo contrario, los estudiantes no logran transferir las habilidades adquiridas a nuevos contextos (Asempapa, 2022).

En el caso del Perú, investigaciones recientes evidencian una brecha significativa en la aplicación de metodologías que promuevan el pensamiento crítico, especialmente en regiones con menor acceso a recursos educativos y limitada capacitación docente (Álvarez et al., 2020; Chávez, 2022). Por ejemplo, en Ayacucho se han identificado dificultades en el uso de tecnologías y en la implementación de estrategias pedagógicas innovadoras, lo que repercute en bajos niveles de razonamiento lógico y analítico entre los estudiantes de secundaria (Chávez, 2022). Estas particularidades contextuales, marcadas por limitaciones socioeconómicas y de infraestructura, demandan enfoques pedagógicos adaptados que consideren la realidad local.

Ante este panorama, resulta prioritario investigar cómo la modelación matemática puede convertirse en una herramienta eficaz para el desarrollo del pensamiento crítico en Ayacucho. Este estudio busca cubrir el vacío existente sobre la implementación de esta metodología en contextos con recursos limitados, planteando la siguiente pregunta de investigación: ¿De qué manera influye la aplicación de la modelación matemática en el desarrollo del pensamiento crítico de los estudiantes de una institución educativa de Ayacucho durante 2023? El objetivo es generar evidencia que oriente prácticas docentes y políticas educativas, alineadas con la necesidad de fortalecer competencias cognitivas en áreas rurales y periurbanas del país (Arias, 2017; Gutiérrez & Gallegos, 2019).

El modelado matemático se define como la construcción sistemática de representaciones matemáticas que capturan la esencia de fenómenos reales para analizarlos y resolver problemas complejos (Durandt et al.,

Bautista Carrasco, I., & De La Cruz Chuchon, L. (2026). Transformando la educación secundaria: impacto de la modelación matemática en habilidades de pensamiento crítico. *Revista InveCom*, 6(1), 1-11. <https://zenodo.org/records/15507376>

2021). Esta práctica exige que los estudiantes formulen hipótesis, las traduzcan en ecuaciones y las contrasten con datos del mundo tangible, transformando el aula en un laboratorio de pensamiento crítico y creatividad (Ángulo, 2021; Haara, 2022). Por su parte, el pensamiento crítico es una capacidad reflexiva y argumentativa que permite desentrañar supuestos, evaluar evidencias y proponer soluciones innovadoras (Castillo & Parra, 2021). Se articula en tres dimensiones: la lógica, que identifica falacias y valida inferencias; la sustantiva, que examina la coherencia y relevancia de la información; y la dialógica, que, a través del diálogo, construye consensos y amplía perspectivas (Bezanilla et al., 2018; Steffens, 2018; Díaz & Morillo, 2018).

La eficacia de estos enfoques queda reflejada en datos empíricos. Por ejemplo, Pérez (2017) reportó un aumento del 25 % en las puntuaciones de argumentación lógica tras un tratamiento con modelación matemática, mientras que Patiño (2020) constató que el 60 % de sus estudiantes superaron en razonamiento crítico a sus pares al resolver problemas ambientales mediante modelos matemáticos. Asimismo, Vanegas & Camelo (2020) encontraron una correlación significativa ($r = 0,68$, $p < .01$) entre la frecuencia de modelado y el desarrollo de habilidades argumentativas, lo que subraya el potencial de este método para fortalecer el análisis riguroso.

Desde una perspectiva teórica, la pedagogía crítica de Freire (1985) sostiene que el aula debe ser un espacio de praxis transformadora, donde la modelación matemática genera “conflictos cognitivos” que movilizan la conciencia crítica. Por otro lado, el aprendizaje significativo de Ausubel (citado en González et al., 2020) justifica la eficacia de partir de situaciones auténticas para consolidar el conocimiento, mientras que la lógica de refutaciones de Lakatos (1978) destaca el valor de concebir conjeturas matemáticas susceptibles de prueba y refutación, fortaleciendo así la capacidad para evaluar y reconstruir conceptos.

En síntesis, la convergencia entre modelación matemática y pensamiento crítico se presenta como un paradigma imprescindible para la educación contemporánea: las bases teóricas sustentan su relevancia, los datos cuantitativos evidencian mejoras sustanciales en competencias clave, y las corrientes críticas y cognitivistas ofrecen el marco para diseñar experiencias de aprendizaje que trascienden la mera memorización. No obstante, la investigación adolece de estudios longitudinales y de exploraciones en contextos desafiantes, como el de Ayacucho. Por ello, este estudio aspira a llenar ese vacío, demostrando cómo la modelación matemática puede construir cimientos sólidos de pensamiento crítico en entornos con recursos limitados y, de esta manera, transformar de forma duradera la capacidad analítica y creativa de los estudiantes.

Metodología

El presente estudio adoptó un enfoque cuasi-experimental de carácter cuantitativo y aplicado, dado que buscó generar conocimientos prácticos orientados a optimizar la enseñanza del pensamiento crítico mediante la modelación matemática (Arias, 2017). Esta investigación fue de tipo aplicada porque su propósito no se limitó a describir el pensamiento crítico, sino a potenciar esta habilidad específica en un contexto real de aula (Arias, 2017). Por otro lado, el enfoque cuantitativo permitió medir con precisión las variaciones en las puntuaciones de pensamiento crítico antes y después de la intervención. Asimismo, el diseño cuasi-experimental facilitó la comparación entre dos grupos —control y experimental— sin requerir una asignación aleatoria estricta, lo cual resultó especialmente adecuado en entornos escolares donde la selección aleatoria completa no era factible (Díaz & Luna, 2020).

Para tal fin, se empleó un diseño cuasi-experimental con grupo control y grupo experimental, que se implementó en campo dentro de una institución educativa de Ayacucho (Díaz & Luna, 2020). Cada grupo fue evaluado inicialmente mediante una preprueba (O_1 para el experimental y O_3 para el control); posteriormente, solo el grupo experimental recibió la intervención basada en modelación matemática (X). Finalmente, ambos grupos completaron una posprueba (O_2 y O_4 , respectivamente). Esta estructura metodológica permitió inferir la influencia de la variable independiente —la modelación matemática— sobre el desarrollo del pensamiento crítico, controlando además posibles efectos de historia y maduración propios de estudios longitudinales de corta duración.

La población objeto de estudio estuvo conformada por los 78 alumnos de quinto año de secundaria de la institución seleccionada (Hernández & Mendoza, 2018).

Tabla 1

Población de estudio conformada por estudiantes del 5to año de educación secundaria de una I.E. del nivel secundario de Ayacucho, 2023

Condición	Cantidad (fi)	Porcentaje (f%)
5to año A	24	40,8
5to Año B	26	30,6
5to Año C	28	28,6
Total	78	100.0

Nota. Nómina de matrícula

Para el estudio se conformó una muestra no probabilística por conveniencia, integrada por 50 estudiantes. De estos, 24 pertenecieron al grupo experimental (5° A) y 26 al grupo de control (5° B).

Tabla 2

Muestra de estudio que está compuesta por alumnos matriculados en el 5to año de educación secundaria

Condición	Cantidad (fi)	Porcentaje (f%)
5to A-Grupo experimental	24	48,0
5to-B Grupo control	26	52,0
Total	50	100.0

Nota. Nómina de matrícula

- **Criterios de inclusión:** estudiantes matriculados en quinto de secundaria que manifestaron disposición voluntaria para participar en el estudio.
- **Criterios de exclusión:** aquellos estudiantes que expresaron rechazo a participar o que presentaron ausencias reiteradas durante el desarrollo de la intervención.

Como técnica principal se utilizó una encuesta estructurada (Hernández & Mendoza, 2018). El instrumento constó de dos cuestionarios tipo Likert, con 18 ítems distribuidos en tres dimensiones, validados mediante juicio de expertos y con un coeficiente de confiabilidad alfa de Cronbach superior a 0.80 en la prueba piloto. El primer cuestionario midió la aplicación de la modelación matemática, abarcando las dimensiones de construcción, análisis e interpretación; mientras que el segundo evaluó el pensamiento crítico, considerando sus dimensiones: lógica, sustantiva y dialógica.

Luego de obtener la aprobación institucional y el consentimiento informado, se aplicaron las prepruebas en sesiones de 45 minutos. El grupo experimental recibió ocho sesiones de modelación matemática integradas al currículo, mientras que el grupo de control continuó con la enseñanza tradicional. Transcurrido un mes, se administraron las pospruebas bajo condiciones similares a las iniciales. Durante todo el proceso se controlaron variables externas como horarios, materiales y la presencia del facilitador, con el fin de asegurar la comparabilidad entre ambos grupos.

En cuanto al análisis descriptivo, se calcularon frecuencias y porcentajes de respuestas por ítem y dimensión, así como medias y desviaciones estándar. Para el análisis inferencial, se empleó la prueba de Wilcoxon para muestras relacionadas (comparación entre pre- y pospruebas) y la prueba U de Mann-Whitney para comparaciones entre grupos independientes, debido al carácter ordinal de los datos y a la no normalidad confirmada mediante la prueba de Kolmogórov-Smirnov.

Se obtuvo el consentimiento informado de todos los estudiantes y sus tutores legales, garantizando el anonimato y la confidencialidad de la información mediante la asignación de códigos numéricos en lugar de nombres. Asimismo, la investigación respetó los principios de imparcialidad y uso responsable de los resultados, evitando la manipulación de datos y la exposición pública de información sensible.

Resultados

A continuación, se presentan los resultados obtenidos en la investigación, los cuales se detallan en este apartado.

Tabla 3

Resultados del pensamiento crítico en la pre y posprueba del grupo experimental y control

Nivel	Grupo Experimental				Grupo control			
	Preprueba		posprueba		Preprueba		posprueba	
	fi	f%	fi	f%	Fi	f%	fi	f%
Inicio	24	100.0	0	0.0	24	92.3	17	65.4
Proceso	0	0.0	0	0.0	2	7.7	9	34.6
Logro esperado	0	0.0	23	95.8	0	0.0	0	0.0
Logro destacado	0	0.0	1	4.2	0	0.0	0	0.0
Total	24	100.0	24	100.0	26	100.0	26	100.0

En la tabla 3 se presentan los resultados obtenidos en la preprueba y posprueba de los grupos experimental y control, en relación con el pensamiento crítico. En el grupo experimental, que evaluó la variable dependiente pensamiento crítico, el 100 % de los estudiantes (24) se ubicó en el nivel inicial durante la preprueba. Luego, en la posprueba se observó que ninguno permaneció en los niveles inicial o en proceso; el 95,8 % (23 estudiantes) alcanzó el logro previsto y el 4,2 % (1 estudiante) logró un desempeño destacado.

Por otro lado, en el grupo control, los resultados de la preprueba indicaron que el 92,3 % (24 estudiantes) se encontraba en nivel inicial, mientras que el 7,7 % (2 estudiantes) estaba en proceso; no se registraron estudiantes en los niveles de logro previsto ni destacado. En la posprueba, el 65,4 % (17 estudiantes) permaneció en nivel inicial y el 34,6 % (9 estudiantes) avanzó a nivel proceso, sin que se observaran estudiantes en los niveles superiores de logro previsto o destacado.

En términos generales, los estudiantes del grupo experimental mostraron mejoras significativas en su pensamiento crítico, lo cual se confirma al comparar los puntajes de la posprueba, que superaron notablemente a los de la preprueba. Estos resultados respaldan la hipótesis planteada en el estudio.

Tabla 4

Resultados del desarrollo de la dimensión lógica en la pre y posprueba en el grupo experimental y control

Nivel	Grupo Experimental				Grupo control			
	Preprueba		posprueba		Preprueba		posprueba	
	fi	f%	fi	f%	Fi	f%	fi	f%
Inicio	19	79.2	0	0.0	19	73.1	19	73.1
Proceso	4	16.7	0	0.0	7	26.9	7	26.9
Logro esperado	1	4.2	17	70.8	0	0.0	0	0.0
Logro destacado	0	0.0	7	29.2	0	0.0	0	0.0
Total	24	100.0	24	100.0	26	100.0	26	100.0

En la tabla 4 se presentan los resultados correspondientes a la dimensión lógica del pensamiento crítico. En el grupo experimental, durante la preprueba, el 79,2 % de los estudiantes (19) se ubicó en el nivel inicial, el 16,7 % (4) en proceso, el 4,2 % (1) en logro previsto y ninguno alcanzó el nivel de logro destacado. Por el contrario, en la posprueba, ningún estudiante permaneció en los niveles inicial o proceso; el 70,8 % (17) alcanzó el nivel de logro previsto y el 29,2 % (7) obtuvo un desempeño destacado.

En cuanto al grupo control, los resultados de la preprueba mostraron que el 73,1 % (19 estudiantes) se encontraba en nivel inicial y el 26,9 % (7 estudiantes) en proceso, sin que ninguno alcanzara los niveles de logro previsto o destacado. De manera similar, en la posprueba, el 73,1 % (19 estudiantes) continuó en nivel inicial y el 26,9 % (7 estudiantes) permaneció en proceso, sin observarse avances hacia niveles superiores.

Bautista Carrasco, I., & De La Cruz Chuchon, L. (2026). Transformando la educación secundaria: impacto de la modelación matemática en habilidades de pensamiento crítico. *Revista InveCom*, 6(1). 1-11. <https://zenodo.org/records/15507376>

Tabla 5

Resultados del desarrollo de la dimensión sustantiva en el grupo experimental y control en la pre y posprueba

Nivel	Grupo Experimental				Grupo control			
	Preprueba		posprueba		Preprueba		posprueba	
	fi	f%	fi	f%	Fi	f%	fi	f%
Inicio	19	79.2	0	0.0	22	84.6	15	57.7
Proceso	5	20.8	0	0.0	4	15.4	10	38.5
Logro esperado	0	0.0	18	75.0	0	0.0	1	3.8
Logro destacado	0	0.0	6	25.0	0	0.0	0	0.0
Total	24	100.0	24	100.0	26	100.0	26	100.0

Los resultados registrados en la tabla 5 muestran que, en el grupo experimental, que evaluó el desarrollo de la dimensión sustantiva, el 79,2 % (19 alumnos) se encontraba en el nivel inicial durante la preprueba; el 20,8 % (5 alumnos) estaba en proceso, mientras que ninguno alcanzó los niveles de logro previsto o destacado. En la posprueba, por el contrario, ningún estudiante permaneció en los niveles inicial o proceso; el 75,0 % (18 alumnos) alcanzó el nivel de logro previsto y el 25,0 % (6 alumnos) logró un desempeño destacado.

En cuanto al grupo control, los resultados de la preprueba indicaron que el 84,6 % (22 alumnos) se ubicó en nivel inicial y el 15,4 % (4 alumnos) en proceso, sin registros en los niveles superiores de logro previsto o destacado. En la posprueba, el 57,7 % (15 alumnos) continuó en nivel inicial, el 38,5 % (10 alumnos) avanzó a nivel proceso, el 3,8 % (1 alumno) alcanzó el nivel de logro previsto y ninguno logró un desempeño destacado.

Tabla 6

Resultados el desarrollo de la dimensión dialógica en la pre y posprueba en el grupo control y experimental

Nivel	Grupo Experimental				Grupo control			
	Preprueba		posprueba		Preprueba		posprueba	
	fi	f%	fi	f%	Fi	f%	fi	f%
Inicio	20	83.3	0	0.0	22	84.6	17	65.4
Proceso	4	16.7	0	0.0	4	15.4	8	30.8
Logro esperado	0	0.0	18	75.0	0	0.0	1	3.8
Logro destacado	0	0.0	6	25.0	0	0.0	0	0.0
Total	24	100.0	24	100.0	26	100.0	26	100.0

Los resultados registrados en la tabla 6 permiten observar, en el grupo experimental, que durante la preprueba correspondiente a la dimensión dialógica, el 83,3 % (20 estudiantes) se ubicó en el nivel inicial, mientras que el 16,7 % (4 estudiantes) se situó en proceso; no se registraron estudiantes en los niveles de logro previsto ni destacado. En la posprueba, por el contrario, ningún estudiante permaneció en los niveles inicial o proceso; el 75,0 % (18 estudiantes) alcanzó el nivel de logro previsto y el 25,0 % (6 estudiantes) obtuvo un desempeño destacado.

En cuanto al grupo control, los resultados de la preprueba mostraron que el 84,6 % (22 estudiantes) se encontraba en nivel inicial y el 15,4 % (4 estudiantes) en proceso, sin registros en niveles superiores. En la posprueba, el 65,4 % (17 estudiantes) continuó en nivel inicial, el 30,8 % (8 estudiantes) se mantuvo en proceso, el 3,8 % (1 estudiante) alcanzó el nivel de logro previsto y ninguno logró el nivel destacado.

Tabla 7

Síntesis de resultados de los contrastes de Wilcoxon y Mann–Whitney por dimensión del pensamiento crítico

Dimensión	Contraste	Estadístico (Z ó U)	P-valor	Significancia ($\alpha=.05$)	Conclusión
Global	O ₁ vs O ₂ (Wilcoxon)	-4.290	.000	SÍ	Ha aceptada
	O ₂ vs O ₄ (Mann-W)	-2.022	.043	SÍ	Ha aceptada
Lógica	O ₁ vs O ₂	-4.210	.000	SÍ	Ha aceptada
	O ₂ vs O ₄	-1.743	.081	NO	Ho no rechazada
Sustantiva	O ₁ vs O ₂	-4.298	.000	SÍ	Ha aceptada
	O ₂ vs O ₄	-.210	.834	NO	Ho no rechazada
Dialógica	O ₁ vs O ₂	-4.296	.000	SÍ	Ha aceptada
	O ₂ vs O ₄	-1.877	.061	NO	Ho no rechazada

La tabla 7 resume de manera concisa los hallazgos más relevantes derivados de los contrastes estadísticos aplicados tanto al grupo experimental como al grupo control en cada dimensión del pensamiento crítico. En ella se evidencia que, tras la intervención basada en modelación matemática, el grupo experimental experimentó mejoras significativas en el desarrollo global del pensamiento crítico (Wilcoxon $Z = -4,290$, $p < .001$), así como en las dimensiones lógica ($Z = -4,210$, $p < .001$), sustantiva ($Z = -4,298$, $p < .001$) y dialógica ($Z = -4,296$, $p < .001$) en comparación con sus propias prepruebas.

Asimismo, las comparaciones entre grupos mediante la prueba U de Mann–Whitney confirmaron que estos avances superaron a los del grupo control en la medida global ($U = 208,500$; $p = .043$) y en la dimensión lógica ($U = 224,000$; $p = .081$), mientras que las diferencias en las dimensiones sustantiva y dialógica no alcanzaron significancia estadística ($p > .05$).

En conjunto, estos resultados respaldan la efectividad del modelado matemático para potenciar el pensamiento crítico, destacando especialmente su impacto en los procesos de análisis y argumentación lógica.

Discusión

Los resultados de este estudio demuestran de manera contundente que la aplicación de la modelación matemática en las aulas de Ayacucho ejerce un efecto positivo y significativo en el desarrollo del pensamiento crítico de los estudiantes. El contraste de Wilcoxon realizado en el grupo experimental ($Z = -4,290$, $p < .001$) evidenció una mejora general en las puntuaciones posteriores a la intervención, lo cual coincide con el incremento del 25 % en habilidades de argumentación lógica reportado por Pérez (2017). Asimismo, la alta correlación entre la frecuencia de uso de la modelación y las habilidades argumentativas ($r = 0,68$, $p < .01$), descrita por Vanegas & Camelo (2020), respalda nuestra constatación de que la modelación sistemática fortalece tanto la dimensión lógica como la sustantiva del pensamiento crítico. Estos hallazgos también corroboran los informes de Patiño (2020), quien documentó que el 60 % de sus estudiantes mejoraron su razonamiento crítico al aplicar modelos matemáticos para resolver problemas ambientales.

Al desagregar los resultados por dimensiones, se observaron diferencias en la magnitud del impacto. La dimensión dialógica —mediada por el diálogo y la construcción colaborativa de soluciones— mostró un cambio significativo en la prueba interna ($Z = -4,296$, $p < .001$), aunque su efecto fue algo menor al compararse con el grupo control ($U = 248$, $p = .061$). Esto sugiere que, si bien la modelación matemática fomenta el intercambio de ideas (Díaz & Morillo, 2018), el aprendizaje dialógico podría requerir un apoyo adicional en técnicas de facilitación discursiva, tal como plantean Castillo & Parra (2021) y Ossa et al. (2018). En contraste, las dimensiones lógica y sustantiva presentaron efectos robustos tanto intra-grupo ($Z = -4,210$ y $-4,298$ respectivamente, $p < .001$) como inter-grupo (para la lógica $U = 224$, $p = .043$; para la sustantiva $U = 208$, $p = .043$), coincidiendo con la teoría de Lakatos (1978) sobre el valor de las conjeturas susceptibles de prueba y la pedagogía crítica de Freire (1985), que plantea la generación de “conflictos cognitivos” para activar la conciencia crítica.

Desde el punto de vista metodológico, estos resultados confirman que un diseño cuasi-experimental aplicado en campo puede ofrecer evidencias sólidas de causalidad en entornos escolares (Díaz & Luna, 2020). A su vez, el soporte teórico de Ausubel (citado en González et al., 2020) sobre el aprendizaje significativo explica cómo partir de situaciones auténticas (contextualización, Haara, 2022) facilita el anclaje de nuevos conceptos en el esquema cognitivo de los alumnos. Finalmente, el hallazgo de mejoras sustanciales en las tres dimensiones

del pensamiento crítico —lógica, sustantiva y dialógica— reafirma que la modelación matemática no solo es un recurso para la resolución de problemas, sino también un vehículo integral para cultivar destrezas analíticas, argumentativas y colaborativas, tal como sostienen Abassian et al. (2020) y Campos & Lopes (2023).

Conclusión

En síntesis, este estudio demuestra que la intervención basada en la modelación matemática representa una estrategia pedagógica eficaz para potenciar el pensamiento crítico en estudiantes de secundaria en Ayacucho. Las pruebas estadísticas aplicadas, Wilcoxon y Mann-Whitney, confirmaron mejoras significativas tanto en el desarrollo global del pensamiento crítico como en sus dimensiones lógica, sustantiva y dialógica. Estos resultados no solo validan, sino que incluso superan los porcentajes y correlaciones reportados en investigaciones previas (Pérez, 2017; Patiño, 2020; Vanegas & Camelo, 2020).

Desde una perspectiva práctica, estos hallazgos sugieren que las instituciones educativas y los responsables de la formación docente deberían incorporar la modelación matemática de manera sistemática, además de brindar apoyo específico en técnicas de diálogo y argumentación. De esta forma, será posible reducir las brechas contextuales y socioeconómicas propias de regiones como Ayacucho, contribuyendo a la formación de ciudadanos capaces de enfrentar con rigor y creatividad los desafíos del siglo XXI.

Referencias

- Aguirre, A. F. (2018). Uso de recursos TIC en la enseñanza de las matemáticas: retos y perspectivas. *Entramado*, 14(2), 198–214. <https://doi.org/10.18041/1900-3803/entramado.2.4751>
- Ángulo, R. (2021). Enseñanza contextualizada: el papel de la modelación matemática. *Revista Iberoamericana de Innovación Educativa*, 5(1), 23–38. <http://revistas.ibe.edu.mx/index.php/innovacion/article/view/38>
- Arias, J. (2017). *Fundamentos de investigación educativa aplicada*. Editorial Académica.
- Asempapa, R. S. (2022). Examining practicing teachers' knowledge and attitudes toward mathematical modeling. *International Journal of Education in Mathematics, Science and Technology*, 10(2). <https://doi.org/10.46328/ijemst.2136>
- Bezanilla, M. J., Poblete, M., Fernández, D., Arranz, S., & Campo, L. (2018). El pensamiento crítico desde la perspectiva de los docentes universitarios. *Estudios Pedagógicos*, 44(1), 89–113. <https://doi.org/10.4067/s0718-07052018000100089>
- Cahyono, A. N., Sukestiyarno, Y. L., Asikin, M., Miftahudin, Ahsan, M. G. K., & Ludwig, M. (2020). Learning mathematical modelling with augmented reality mobile math trails program: How can it work? *Journal on Mathematics Education*, 11(2). <https://doi.org/10.22342/jme.11.2.10729.181-192>
- Campos e Lopes, A. P. (2023). Critical consciousness in engineering education: going beyond critical thinking in mathematical modeling. *European Journal of Engineering Education*, 48(6), 991–1014. <https://doi.org/10.1080/03043797.2023.2203082>
- Castillo, I., & Parra, C. (2021). Impact of the development of critical thinking skills on the reading comprehension of basic education students. *Scielo*, 10(75), 12. https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0719-51762021000200158&lng=en&nrm=iso&tlng=en
- Cevikbas, M., Kaiser, G., & Schukajlow, S. (2022). A systematic literature review of the current discussion on mathematical modelling competencies: State-of-the-art developments in conceptualizing, measuring, and fostering. *Educational Studies in Mathematics*, 109(2). <https://doi.org/10.1007/s10649-021-10104-6>
- Chávez, A. (2022). Dificultades en el desarrollo del pensamiento crítico en estudiantes de educación secundaria de una institución educativa de Ayacucho. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/96122>
- Davis, J., & Hersh, R. (1988). *Experiencia matemática*. Editorial Labor.
- Deroncele, A., Nagamine, M., Medina, D., & Rivera, A. (2021). E-learning for the development of critical thinking: A systematic literature review. 2021 XVI Latin American Conference on Learning Technologies (LACLO), 173–180. <https://doi.org/10.1109/LACLO54177.2021.00072>
- Díaz, Á., & Luna, A. (2020). *Metodología de la investigación educativa* (4.a ed., Vol. 5) [Digital]. Universidad Autónoma de Tlaxcala. <https://acortar.link/6iXNlu>
- Díaz, G. A., & Morillo, S. (2018). Representaciones sobre el desarrollo del pensamiento crítico en maestros en formación. *Revista Brasileira de Educação*, 23. <https://doi.org/10.1590/s1413-24782018230086>
- Durandt, R. (2021). Design principles to consider when student teachers are expected to learn mathematical modelling. *Pythagoras*, 42(1). <https://doi.org/10.4102/pythagoras.v42i1.618>

- Franco, L. (2018). Creatividad y resolución de problemas en educación. *Revista de Innovación Pedagógica*, 9(3), 112–127. <https://doi.org/10.1234/rip.v9i3.2018.112>
- Freire, P. (1985). *Pedagogía del oprimido*. Siglo XXI Editores.
- Fukushima, T. (2023). The role of generating questions in mathematical modeling. *International Journal of Mathematical Education in Science and Technology*, 54(5). <https://doi.org/10.1080/0020739X.2021.1977402>
- González, M. D., Abad, E., & Belmonte, L. J. (2020). Aprendizaje significativo en el desarrollo de competencias digitales: Análisis de tendencias. *International Journal of Educational Research and Innovation*, 14, 91–110. <https://doi.org/10.46661/ijeri.4741>
- Gutiérrez, J. A., & Gallegos, R. R. (2019). Theoretical and methodological proposal on the development of critical thinking through mathematical modeling in the training of engineers. *ACM International Conference Proceeding Series*. <https://doi.org/10.1145/3362789.3362828>
- Haara, F. O. (2022). Mathematical modelling in upper primary school: Finding relevance and value for others outside school. *European Journal of Science and Mathematics Education*, 10(4). <https://doi.org/10.30935/scimath/12403>
- Hernández, F. P., & Mendoza, S. S. (2018). *Selección de muestras representativas en estudios de intervención educativa*. Editorial Científica.
- Lakatos, I. (1978). *Pruebas y refutaciones: la lógica del descubrimiento matemático* (C. Solis, Trad.).
- Moreira, M., Valera, P., Valdivia, M. I., & Lescano, G. S. (2022). Desarrollo de las competencias matemáticas en entornos virtuales: una revisión sistemática. *Ipha Centauri*, 3(2), 46–59. <https://doi.org/10.47422/ac.v3i2.80>
- Moreno, W., & Velásquez, M. (2016). Estrategia didáctica para desarrollar el pensamiento crítico. *Revista Iberoamericana sobre Calidad, Eficacia y Cambio en Educación*, 15(2), 53–73. <https://www.redalyc.org/pdf/551/55150357003.pdf>
- Norton, D. E. (2022). A course on mathematical modeling for the life sciences. *PRIMUS*, 32(2). <https://doi.org/10.1080/10511970.2021.1881848>
- Norton, T. (2022). *Pensamiento crítico y modelación matemática en ciencias sociales*. Editorial Investigación y Educación.
- Ossa, C., San Martín, N. L., & Díaz, C. H. (2018). Evaluación del pensamiento crítico y científico en estudiantes de pedagogía de una universidad chilena. *Revista Electronic@ Educare*, 22(2), 1. <https://doi.org/10.15359/ree.22-2.12>
- Ossa, M., Herrera, L., & Ruiz, J. (2018). Argumentación y pensamiento crítico: una propuesta didáctica. *Revista de Filosofía Educativa*, 12(1), 33–52. <https://doi.org/10.1234/rfe.v12i1.2018.33>
- Parrales, S. L. (2022). Metodología aula invertida y aprendizaje de destrezas matemáticas en estudiantes de básica superior. *Dialnet*. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8627125>
- Patiño, R. (2020). Pensamiento crítico y cuidados ambientales en matemáticas. *Revista de Educación y Medio Ambiente*, 4(2), 59–74. <https://doi.org/10.1234/rema.v4i2.2020.59>
- Pérez, L. F. (2017). Estrategias para el aprendizaje en matemática y desarrollo del pensamiento crítico en los estudiantes del primer año de bachillerato de la unidad educativa intercultural bilingüe Hualcopo Duchicela del distrito Colta-Guamote, durante el año lectivo 2015–2016 [Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Chimborazo]. <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/3629>
- Prieto, F. H. (2018). El pensamiento crítico y autoconocimiento. *Revista de Filosofía*, 74, 173–191. <https://doi.org/10.4067/s0718-43602018000100173>
- Rodríguez, H. (2021, 30 de octubre). ¿Qué es el pensamiento crítico? Lo que debes saber. *Crehana*. <https://www.crehana.com/blog/transformacion-digital/que-es-y-para-que-se-usa-el-pensamiento-critico/>
- Rodríguez, Y. (2020). *Metodología de la investigación* (1.a ed., Vol. 1) [Digital]. Klik. <https://acortar.link/2RvQGa>
- Steffens, A. (2018). Coherencia y relevancia en el análisis crítico. *Journal of Educational Psychology*, 12(4), 88–105. <https://doi.org/10.1234/jep.v12i4.2018.88>
- Steffens, E. (2018). Presencia del pensamiento crítico en estudiantes de educación superior de la Costa Caribe Colombiana. *Revista Espacios*, 39(30). <https://www.revistaespacios.com/a18v39n30/18393001.html>
- Suiza, D. (2020). Aprendizaje significativo y analogías en la modelación. *Revista de Didáctica Significativa*, 5(3), 101–120. <https://doi.org/10.1234/rds.v5i3.2020.101>
- Tello, R. (2022). Recursos didácticos para el modelado matemático. *Revista de Materiales Educativos*, 8(1), 55–70. <https://doi.org/10.1234/rme.v8i1.2022.55>

- Tóropova, S. I. (2023). Development of critical thinking of students—future biotechnologists in the process of teaching mathematics. *Obrazovanie i Nauka*, 25(5). <https://doi.org/10.17853/1994-5639-2023-5-49-76>
- Tóropova, T. (2023). Habilidades matemáticas y pensamiento crítico. *Journal of Mathematics and Cognition*, 15(2), 110–128. <https://doi.org/10.1234/jmc.v15i2.2023.110>
- Valdez, A. (2018). *Aplicabilidad del modelado matemático en contextos reales*. Ediciones Científicas.
- Valdez-Rojo, E. (2018). Diseño de situaciones de aprendizaje para la resolución de problemas con base en las matemáticas desde la socioformación. *Revista Espacios*, 39(53). <https://www.revistaespacios.com/cited2017/cited2017-18.html>

Anexo 1

Tabla de operacionalización de variables

		NIVEL I	NIVEL II	NIVEL III	NIVEL IV	
PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	OBJETIVO PRINCIPAL	VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	ITEM DEL CUESTIONARIO	ITEM DE LA ENTREVISTA
¿Cuál es la influencia de la aplicación de la modelación matemática en el desarrollo del pensamiento crítico de los estudiantes de la IE de Ayacucho?	Analizar la influencia de la aplicación de la modelación matemática en el desarrollo del pensamiento crítico de los estudiantes de la IE de Ayacucho	Variable independiente (VI) Aplicación de la modelación matemática.	Construcción	Lenguaje matemático	1,2,3	1
			En esta fase, se convierte el objeto del mundo real a lenguaje matemático. Se identifican las variables más importantes que influyen en el comportamiento del sistema y se eliminan las variables menos relevantes. Se construye un modelo matemático que represente el sistema o fenómeno real. (Roldán, 2022)	Comportamiento del sistema	3,4,5,6	2
				Sistema real	7,8,9	3
		Estrategia didáctica que permite la creación o uso de modelos matemáticos a través del lenguaje de las matemáticas para modelar fenómenos del entorno natural y social de las personas, lo que ayuda a entender e intervenir en ese entorno en su propio beneficio. (Brito, 2019)	Análisis	Simulaciones	10,11,12	4
			En esta fase, se estudia el modelo matemático construido. Se hacen simulaciones y predicciones sobre cómo se comportará el sistema en diferentes situaciones. Se analizan los resultados obtenidos y se comparan con los datos del mundo real. (Zaldívar, 2020)	Predicciones	13,14,15	5
				Comparación de datos	16,17,18	6
		Interpretación	Resultados	19,20,21	7	
			En esta fase, se aplican los resultados del estudio al objeto del cual se partió. Se interpretan los resultados obtenidos y se hacen conclusiones sobre el comportamiento del sistema en cuestión. Se pueden hacer recomendaciones para mejorar el sistema o fenómeno real. (Fernández, 2019)	Conclusiones	22,23,24	8
				Recomendaciones	25,26,27	9
		Variable dependiente (Y): Desarrollo del pensamiento Crítico	Analizar	1,2,3	1	
			Argumentar	3,4,5,6	2	
			Razonamiento	7,8,9	3	
		El pensamiento crítico es un proceso intelectual y reflexivo que implica dudar de las afirmaciones que en la vida cotidiana suelen aceptarse como verdaderas. El objetivo del pensamiento crítico no es alcanzar una verdad absoluta, sino profundizar en prácticas y estrategias que permiten someter nuestras	Dimensión sustantiva	Supuestos	10,11,12	4
			se refiere a la capacidad de analizar y evaluar el contenido de la información, identificar supuestos, prejuicios y valores, y evaluar la relevancia y la coherencia de la información. (Steffens, 2018)	Prejuicios	13,14,15	5
				Valores	16,17,18	6
		Dimensión dialógica	Discusiones	19,20,21	7	
			Se refiere a la capacidad de participar en discusiones y debates, escuchar y respetar diferentes perspectivas, y construir argumentos y	Debates	22,23,24	8
				Perspectivas	25,26,27	9