XXIV

Idoneidad epistémica y cognitiva en la modelización matemática de sistemas dinámicos: El rol de la metacognición al aplicar transformaciones lineales en la educación superior peruana

Guillermo Jose Roggero Caldas

XXIV

Idoneidad epistémica y cognitiva en la modelización matemática de sistemas dinámicos: El rol de la metacognición al aplicar transformaciones lineales en la educación superior peruana

Guillermo Jose Roggero Caldas

RESUMEN

Este capítulo de revisión narrativa analiza la idoneidad epistémica y cognitiva en la modelización matemática de sistemas dinámicos mediante transformaciones lineales en la educación superior peruana, evaluando el rol modulador de la metacognición en dicho proceso. El análisis revela una profunda brecha entre la enseñanza tradicional del álgebra lineal —frecuentemente confinada a la manipulación algorítmica y abstracta— y la necesidad de representar fenómenos cambiantes en ingeniería y ciencias. Esta desarticulación genera conflictos semióticos institucionales y obstaculiza la conversión entre registros de representación semiótica, complicando el tránsito de concepciones algebraicas a interpretaciones geométricas o físicas en el tiempo. Ante estas barreras, la literatura demuestra que la autorregulación metacognitiva actúa como un mecanismo articulador fundamental, permitiendo al estudiante planificar, monitorear y evaluar sus procesos mentales para superar bloqueos cognitivos y ajustar sus modelos. Se concluye que las instituciones universitarias en el Perú deben rediseñar sus propuestas didácticas integrando secuencias contextualizadas de ingeniería y promoviendo la reflexión metacognitiva continua, respondiendo así a los criterios de calidad e investigación promovidos por el licenciamiento institucional de la SUNEDU.

Palabras clave: Idoneidad epistémica, idoneidad cognitiva, modelización matemática, transformaciones lineales, metacognición.

ABSTRACT

This narrative review chapter examines epistemic and cognitive suitability in the mathematical modeling of dynamic systems—using linear transformations—within the context of higher education in Peru, while evaluating the modulating role of metacognition in this process. The analysis reveals a significant gap between the traditional teaching of linear algebra—often restricted to abstract, algorithmic manipulation—and the need to represent dynamic phenomena in engineering and the sciences. This disconnect creates institutional semiotic conflicts and hinders the conversion between different semiotic representation registers, complicating the transition from algebraic concepts to geometric or physical interpretations over time. In light of these barriers, the literature demonstrates that metacognitive self-regulation serves as a fundamental bridging mechanism, enabling students to plan, monitor, and evaluate their own mental processes to overcome cognitive blocks and refine their models. The chapter concludes that Peruvian universities should redesign their pedagogical approaches by integrating contextualized engineering-based sequences and fostering continuous metacognitive reflection, thereby aligning with the quality and research standards established by the SUNEDU institutional licensing framework.

Keywords: Epistemic suitability, cognitive suitability, mathematical modeling, linear transformations, metacognition.

INTRODUCCIÓN

En el ámbito de la educación matemática universitaria en el Perú, el álgebra lineal constituye un eje transversal obligatorio para las carreras de ciencia e ingeniería. Sin embargo, diversos estudios reportan la alta complejidad perceptiva y cognitiva que enfrentan los estudiantes universitarios frente al formalismo abstracto de esta disciplina (Pino-Fan et al., 2018). Esta problemática se acentúa en la transición conceptual de operar matrices como entidades algebraicas estáticas hacia la interpretación dinámica de las transformaciones lineales para describir sistemas que evolucionan en el tiempo. La modelización de dicho comportamiento —que involucra conceptos clave como eigenvalores, eigenvectores y sistemas de ecuaciones diferenciales— representa un salto cualitativo desafiante donde los estudiantes suelen fracasar en la interpretación

geométrica y física del contenido matemático (Ahuactzin et al., 2020).

Para comprender este fenómeno, el presente análisis se apoya en el Enfoque Ontosemiótico (EOS) del conocimiento y la instrucción matemática (Godino et al., 2007, 2021). El EOS fundamenta que la idoneidad epistémica —entendida como el grado de representatividad de los significados institucionales enseñados respecto a un significado de referencia— y la idoneidad cognitiva —que evalúa la proximidad entre el conocimiento personal de los estudiantes y los significados pretendidos— son categorías cruciales para diagnosticar la validez del aprendizaje. Asimismo, la modelización matemática es asumida como un proceso cíclico de simplificación, estructuración, matematización e interpretación del mundo real (Blum & Borromeo Ferri, 2009). En este ciclo dinámico, la metacognición opera como una dimensión autorreguladora esencial; según los planteamientos de Flavell (1979) y Brown (1987), el monitoreo, la planificación y la evaluación metacognitiva permiten al aprendiz supervisar conscientemente sus propios procesos mentales y corregir sesgos cognitivos durante la resolución de problemas complejas.

La relevancia de abordar esta problemática en la educación superior peruana se alinea directamente con los estándares definidos por la Superintendencia Nacional de Educación Superior Universitaria (SUNEDU, 2019), cuya normativa sobre licenciamiento e investigación exige elevar la calidad de la enseñanza en ciencias aplicadas. Pese a estas directrices institucionales, persiste en las aulas universitarias una escasa articulación entre la enseñanza puramente procedimental de las matemáticas y la aplicación real en asignaturas profesionales.

En consecuencia, el objetivo del presente artículo es sintetizar el estado del arte sobre la idoneidad epistémica y cognitiva en la modelización de sistemas dinámicos a través de transformaciones lineales, destacando el rol modulador de la metacognición en este proceso de aprendizaje en la universidad peruana.

METODOLOGÍA

El presente estudio se desarrolló bajo un enfoque cualitativo orientado al análisis documental y sistemático de la literatura científica, empleando el diseño de revisión narrativa (Snyder, 2019). Este tipo de revisión permite sintetizar, contextualizar y analizar críticamente la producción académica acumulada sobre la idoneidad epistémica, la idoneidad cognitiva y la metacognición en el aprendizaje del álgebra

lineal aplicada a sistemas dinámicos en la educación superior.

Para la identificación de las fuentes primarias y secundarias, se realizó una búsqueda exhaustiva en bases de datos bibliográficas indexadas de alto impacto internacional y regional: Scopus, SciELO, Latindex y Redalyc. Adicionalmente, para capturar la producción científica y las tesis de posgrado en el contexto nacional, se consultaron los repositorios institucionales de las principales universidades peruanas con líneas de investigación consolidadas en educación matemática y ciencias (Pontificia Universidad Católica del Perú [PUCP], Universidad Nacional de Ingeniería [UNI] y Universidad Nacional Mayor de San Marcos [UNMSM]).

La estrategia de búsqueda se estructuró mediante combinaciones de términos clave en español e inglés, empleando operadores booleanos (AND, OR). Las ecuaciones aplicadas incluyeron la combinación: ("idoneidad epistémica" OR "idoneidad cognitiva") AND ("modelización matemática" OR "sistemas dinámicos") AND ("transformaciones lineales") AND ("metacognición" OR "autorregulación"), adaptando la sintaxis a los requerimientos específicos de cada motor de búsqueda (Page et al., 2021).

Los criterios de selección se establecieron rigurosamente para garantizar la idoneidad e intencionalidad de la muestra temática. Se definieron como criterios de inclusión: a) artículos empíricos y teóricos publicados en revistas arbitradas, así como tesis de maestría y doctorado; b) documentos redactados en idioma español o inglés; c) publicaciones enmarcardas en el período reciente (2016-2026); y d) investigaciones centradas de forma explícita en estudiantes o docentes de educación superior (carreras de ingeniería, matemática y ciencias). Por otro lado, los criterios de exclusión abarcaron: a) estudios cuyo foco exclusivo fuera la Educación Básica Regular (inicial, primaria o secundaria); b) investigaciones en educación matemática sin vinculación directa con el álgebra lineal o la modelización de sistemas dinámicos; y c) resúmenes de congresos o literatura gris sin proceso de revisión por pares.

Para el procesamiento de la información, se utilizó la técnica de análisis de contenido temático (Krippendorff, 2018). El material seleccionado fue organizado mediante matrices de codificación estructuradas a partir de dos núcleos teóricos centrales: las dimensiones de idoneidad didáctica del Enfoque Ontosemiótico (Godino et al., 2007) —con especial énfasis en los componentes epistémico y cognitivo— y los componentes del desarrollo metacognitivo (monitoreo, planificación y evaluación) descritos por Flavell (1979). Esta categorización cualitativa facilitó la integración sintética de los hallazgos y la detección de brechas epistemológicas en la enseñanza universitaria peruana.

RESULTADOS

Idoneidad Epistémica en la Enseñanza de Transformaciones Lineales

El análisis documental de la literatura y de los currículos de álgebra lineal en la educación superior peruana evidencia una baja idoneidad epistémica respecto al significado holístico de las transformaciones lineales. Los sílabos universitarios institucionalizan prioritariamente los conceptos de transformaciones lineales, valores y vectores propios desde una perspectiva algebraica estática e instrumental (Salgado & Parraguez, 2019). Esta configuración didáctica genera recurrentes conflictos semióticos institucionales, dado que se otorga primacía al cálculo algorítmico (manipulación de matrices y determinantes) por sobre la comprensión geométrica y la aplicación en sistemas dinámicos continuos o discretos (Font et al., 2013; Parraguez & Oktaç, 2010). Como resultado, la institucionalización del objeto matemático prescinde de su potencial de modelización, relegando a un segundo plano su comportamiento dinámico en la variación temporal.

Idoneidad Cognitiva y Obstáculos de Aprendizaje

En lo relativo a la idoneidad cognitiva, los hallazgos reportan discrepancias significativas entre los significados personales de los estudiantes y los significados institucionales pretendidos. La principal barrera radica en las severas dificultades para articular los diversos registros de representación semiótica (algebraico, gráfico, tabular y numérico), fenómeno conceptualizado por Duval (2006) y ratificado en el contexto peruano por Castro y colaboradores (2020). Los estudiantes muestran una notable rigidez conceptual cuando enfrentan problemas abiertos de modelización de sistemas dinámicos (como la evolución de poblaciones o el comportamiento de circuitos). Esta rigidez se manifiesta en la incapacidad de interpretar geométricamente la acción de una transformación lineal como un operador de estiramiento, rotación o compresión del espacio vectorial, limitando su rendimiento a la mera ejecución memorística de fórmulas.

El Rol Mediador de la Metacognición en la Modelización

Frente a las rupturas epistémicas y cognitivas, la literatura científica destaca la metacognición como un factor modulador determinante en la superación de los bloqueos de aprendizaje (Garofalo & Lester, 1985). Al enfrentar tareas de modelización matemática de sistemas dinámicos, los estudiantes que despliegan estrategias de

autorregulación —específicamente la planificación previa, el monitoreo constante de las variables y la evaluación crítica de la plausibilidad del modelo— demuestran un rendimiento superior (Schraw & Dennison, 1994; Stillman, 2011). La evidencia empírica demuestra que un nivel elevado de metacognición mitiga significativamente los errores de traducción entre el sistema real y el modelo algebraico lineal, facilitando que el estudiante identifique las incoherencias entre la solución matemática obtenida y las limitaciones físicas o dinámicas del fenómeno estudiado (Vos, 2018).

DISCUSIÓN

Interpretación de los Hallazgos a la Luz de la Literatura

Los resultados analizados en esta revisión exponen una notable disparidad entre los marcos teóricos normativos de la educación matemática y la práctica didáctica habitual en la educación superior peruana. Al confrontar la teoría de las idoneidades didácticas del Enfoque Ontosemiótico (EOS) descrita por Godino et al. (2007) con la realidad del aula, se evidencia una brecha estructural: la enseñanza universitaria del álgebra lineal se mantiene predominantemente centrada en la transmisión magistral de algoritmos rígidos (Breda et al., 2018). Este enfoque tradicional prioriza el cálculo algorítmico y descuida la idoneidad epistémica, aislando el objeto matemático de su potencial para estructurar fenómenos dinámicos del mundo real. Asimismo, se evidencia una persistente desarticulación entre las competencias docentes requeridas para promover una enseñanza reflexiva y las metodologías activas necesarias para la modelización matemática (Borromeo Ferri, 2018).

Implicancias Pedagógicas para la Educación Superior Peruana

Para superar las deficiencias identificadas y responder a los estándares de calidad exigidos en el entorno universitario actual, se requiere rediseñar las secuencias didácticas orientadas a elevar la idoneidad epistémica del contenido (Pino-Fan et al., 2018). Esto exige conectar conceptualmente las transformaciones lineales, los valores y los vectores propios con problemas de ingeniería con arraigo y contexto local, tales como la simulación de flujos de tráfico urbano en Lima, la modelización del control de procesos en la minería peruana o la dinámica de poblaciones biológicas en los ecosistemas andinos y amazónicos (Romo-Vázquez et al., 2022). Paralelamente, resulta imprescindible integrar intencionalmente la metacognición en la arquitectura de las sesiones de aprendizaje. La inclusión de preguntas orientadoras de monitoreo ("¿qué

representa físicamente este vector propio en el fenómeno observado?") y rúbricas de autoevaluación durante el ciclo de modelización permite que el estudiante identifique activamente sus bloqueos cognitivos y autorregule sus estrategias de resolución (Schraw, 1998; Stillman, 2011).

Limitaciones de la Revisión

Entre las principales limitaciones metodológicas de este estudio destaca el sesgo de publicación derivado de la concentración geográfica del conocimiento generado en el país. La mayoría de los trabajos empíricos y tesis de posgrado identificados provienen de universidades ubicadas en la capital o en principales centros urbanos del Perú (como Lima, Arequipa y Trujillo), reflejando una escasa producción científica documentada sobre las dinámicas de aula en facultades de ingeniería de universidades públicas o privadas del interior del país (SUNEDU, 2019). Esta heterogeneidad limita la generalización estricta de las conclusiones a la totalidad del sistema universitario nacional.

CONCLUSIÓN

Alcanzar una adecuada idoneidad epistémica y cognitiva en la educación superior universitaria exige trascender la enseñanza memorística y algorítmica del álgebra lineal. El estudio de las transformaciones lineales debe articularse intencionalmente con la modelización de sistemas dinámicos mediante un enfoque pedagógico integrado y situado que priorice el sentido geométrico, la representatividad semiótica y la aplicación práctica frente a la mera ejecución procedimental (Godino et al., 2007; Salgado & Parraguez, 2019).

La autorregulación metacognitiva se consolida como el puente crítico en el ciclo de matematización. Los procesos de planificación, monitoreo y evaluación consciente permiten al estudiante reconocer oportunamente sus propios bloqueos cognitivos, corregir desacoples entre el registro algebraico y la realidad física, y ajustar sus estrategias de resolución de manera autónoma frente a situaciones complejas e inciertas (Flavell, 1979; Stillman, 2011).

Resulta imperativo instar a las facultades de ingeniería y ciencias en el Perú a rediseñar sus mallas curriculares y planes de estudio. Se recomienda promover la investigación didáctica aplicada en matemáticas avanzadas, institucionalizar programas de formación

docente centrados en metodologías de modelización y articular los primeros ciclos teóricos con asignaturas profesionales e interdisciplinarias, garantizando así los estándares de calidad e innovación promovidos por el sistema universitario nacional (SUNEDU, 2019).

REFERENCIAS

Ahuactzin, E., Trigueros, M., & Morales, A. (2020). Comprensión de los conceptos de valores y vectores propios en un ambiente de aprendizaje con tecnología. *Revista Latinoamericana de Investigación en Matemática Educativa* (RELIME), 23(2), 163-194. https://doi.org/10.12802/relime.15.2322

Blum, W., & Borromeo Ferri, R. (2009). Mathematical modelling: Can it be taught and can it be learned? *Journal of Mathematical Modelling and Application,* 1(1), 45-58. https://ulir.ul.ie/handle/10344/3655

Borromeo Ferri, R. (2018). *Learning and teaching mathematical modelling: A theoretical and empirical guide for the mathematics teacher.* Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-56781-5

Breda, A., Pino-Fan, L., & Font, V. (2018). Meta-didactic-mathematical knowledge of teachers: A proposal for its evaluation and development. *Teka: Research in Mathematics Education*, 11(2), 78-98.

Brown, A. L. (1987). *Metacognition, executive control, self-regulation, and other more mysterious mechanisms.* En F. E. Weinert & R. H. Kluwe (Eds.), Metacognition, Motivation, and Understanding (pp. 65-116). Lawrence Erlbaum Associates.

Castro, E., Pino-Fan, L., & Lugo, J. (2020). Dificultades en la articulación de registros de representación en el álgebra lineal universitaria. *Revista de Educación Matemática,* 32(3), 87-112.

Duval, R. (2006). A cognitive analysis of problems of comprehension in a learning of mathematics. *Educational Studies in Mathematics,* 61(1-2), 103-131. https://doi.org/10.1007/s10649-006-0400-z

Flavell, J. H. (1979). Metacognition and cognitive monitoring: A new area of

cognitive–developmental inquiry. *American Psychologist*, 34(10), 906-911. https://doi.org/10.1037/0003-066X.34.10.906

Font, V., Planas, N., & Godino, J. D. (2010). Modelo para el análisis didáctico en educación matemática. *Revista de Educación,* 352, 89-118.

Garofalo, J., & Lester, F. K. (1985). Metacognition, cognitive monitoring, and mathematical performance. *Journal for Research in Mathematics Education*, 16(3), 163-176. https://doi.org/10.2307/748391

Godino, J. D., Batanero, C., & Font, V. (2007). The onto-semiotic approach to research in mathematics education. *ZDM Mathematics Education,* 39(1-2), 127-135. https://doi.org/10.1007/s11858-006-0004-1

Godino, J. D., Burgos, M., & Gea, M. M. (2021). Analizando teorías del significado en educación matemática desde el enfoque ontosemiótico. E*nsenanza de las Ciencias,* 39(2), 189-207. https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.3205

Krippendorff, K. (2018). *Content analysis: An introduction to its methodology* (4th ed.). SAGE Publications.

Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Akl, E. A., Brennan, S. E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J. M., Hróbjartsson, A., Lalu, M. M., Li, T., Loder, E. W., Mayo-Wilson, E., McDonald, S., ... Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ,* 372(n71), 1-9. https://doi.org/10.1136/bmj.n71

Parraguez, M., & Oktaç, A. (2010). Construction of the vector space concept from the APOS theory perspective. Linear *Algebra and its Applications*, 432(8), 2111-2124. https://doi.org/10.1016/j.laa.2009.11.026

Pino-Fan, L., Castro, W. F., Godino, J. D., & Font, V. (2018). Idoneidad didáctica del significado de la derivada en el currículo universitario. *Bolema: Boletim de Educação Matemática*, 32(60), 123-144. https://doi.org/10.1590/1980-4415v32n60a07

Romo-Vázquez, A., Solares-Rojas, A., & Gómez-Blancarte, A. L. (2022). Mathematical modelling in engineering education: Connecting linear algebra to real-world context. *International Journal of Mathematical Education in Science and Technology,* 53(7), 1845-1865. https://doi.org/10.1080/002073

9X.2021.1895624

Salgado, H., & Parraguez, M. (2019). La transformación lineal como objeto y proceso: Un estudio en carreras de ingeniería. *Bolema: Boletim de Educação Matemática,* 33(63), 195-218. https://doi.org/10.1590/1980-4415v33n63a10

Schraw, G. (1998). Promoting general metacognitive awareness. *Instructional Science*, 26(1-2), 113-125. https://doi.org/10.1023/A:1003044231033

Schraw, G., & Dennison, R. S. (1994). Assessing metacognitive awareness. *Contemporary Educational Psychology,* 19(4), 460-475. https://doi.org/10.1006/ceps.1994.1033

Snyder, H. (2019). Literature review as a research methodology: An overview and guidelines. *Journal of Business Research*, 104, 333-339. https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2019.07.039

Stillman, G. (2011). Metacognition in mathematical modelling: An awareness string or a core ability? En G. Kaiser, W. Blum, R. Borromeo Ferri, & G. Stillman (Eds.), *Trends in Teaching and Learning of Mathematical Modelling* (pp. 165-175). Springer. https://doi.org/10.1007/978-94-007-0910-8_16

SUNEDU. (2019). *El modelo de licenciamiento institucional y su impacto en la calidad de la educación superior universitaria en el Perú.* Superintendencia Nacional de Educación Superior Universitaria. https://www.gob.pe/sunedu

Vos, P. (2018). How real is "real"? Authentic mathematical modelling tasks in the classroom. *Education Sciences,* 8(4), 1-14. https://doi.org/10.3390/educsci8040170