

## **Integración del pensamiento matemático y físico: estrategias educativas para articular el aprendizaje de Precálculo y Física I en la formación universitaria inicial**

### **Integration of Mathematical and Physical Thinking: Educational Strategies to Articulate the Learning of Precalculus and Physics I in Early University Education**

### **Integração do pensamento matemático e físico: estratégias educacionais para articular a aprendizagem de pré-cálculo e física I no ensino universitário inicial**

Marco Vinicio Añezco Maldonado  
Segundo Bienvenido Camatón Arízabal  
Jorge Wilson Flores Rodríguez  
Jorge Washington Encalada Noboa

#### **RESUMEN**

La articulación entre el pensamiento matemático y el pensamiento físico representa un desafío crucial en la formación universitaria inicial. La enseñanza fragmentada de Precálculo y Física I suele generar dificultades de transferencia conceptual, impidiendo que los estudiantes apliquen los fundamentos matemáticos a la comprensión de fenómenos físicos. Este artículo propone un marco metodológico integrador sustentado en la modelización, la co-enseñanza interdisciplinaria y el uso de tecnologías interactivas. Mediante una revisión teórica y el diseño de estrategias instruccionales, se plantea una secuencia de aprendizaje que conecta contenidos de ambas asignaturas, favoreciendo la coherencia epistemológica y el desarrollo de la competencia representacional. Los resultados esperados, basados en evidencias previas, sugieren mejoras significativas en la comprensión conceptual, la motivación y la transferencia interdisciplinaria del conocimiento. Se proyecta un incremento del 40 % en el rendimiento conceptual del grupo experimental frente al tradicional, atribuible al uso coordinado de modelización, aprendizaje activo y simulaciones. Las conclusiones destacan que la integración entre Precálculo y Física I debe institucionalizarse como una política académica que promueva el pensamiento científico, la comprensión profunda y la formación integral del estudiantado. El estudio aporta un modelo replicable para la educación superior, especialmente en carreras STEM, donde la

#### How to cite:

Añezco, M., Camatón, S., Flores, J., Encalada, J. (2025) Integración del pensamiento matemático y físico: estrategias educativas para articular el aprendizaje de Precálculo y Física I en la formación universitaria inicial. *Revista Iberoamericana De educación*, 9 (4).

Received: September, 2025  
Approved: October, 2025

<http://www.revista-iberoamericana.org/index.php/es>

Magíster en Investigación Operativa  
Universidad de Guayaquil  
marco.anazcom@ug.edu.ec  
<https://orcid.org/0000-0003-1022-6487>

Magíster en Enseñanza de la Matemática  
Universidad de Guayaquil  
segundo.camatona@ug.edu.ec  
<https://orcid.org/0000-0001-8327-2869>

Magíster en Educación Superior  
Universidad de Guayaquil  
wilson.floresr@ug.edu.ec  
<https://orcid.org/0000-0002-7436-7441>

Magíster en Enseñanza de la Física  
Universidad de Guayaquil  
jorge.encaladan@ug.edu.ec  
<https://orcid.org/0000-0002-2884-5596>

comprensión interdisciplinaria constituye una competencia esencial para el aprendizaje significativo y la innovación educativa.

**Palabras clave:** integración disciplinar, pensamiento matemático, pensamiento físico, estrategias educativas.

## ABSTRACT

The integration of mathematical and physical thinking represents a crucial challenge in early university education. The fragmented teaching of Precalculus and Physics I often generates conceptual transfer difficulties, preventing students from applying mathematical foundations to the understanding of physical phenomena. This article proposes an integrative methodological framework based on scientific modeling, interdisciplinary co-teaching, and the use of interactive technologies. Through theoretical analysis and the design of instructional strategies, it outlines a learning sequence that connects content from both courses, fostering epistemological coherence and the development of representational competence. Expected results, supported by previous empirical evidence, indicate significant improvements in conceptual understanding, motivation, and interdisciplinary knowledge transfer. A projected 40% increase in conceptual performance is anticipated in the experimental group compared with traditional instruction, attributed to the coordinated use of modeling, active learning, and simulations. The conclusions emphasize that the integration between Precalculus and Physics I should be institutionalized as an academic policy promoting scientific thinking, deep understanding, and comprehensive student formation. The study provides a replicable model for higher education—especially in STEM programs—where interdisciplinary understanding constitutes an essential competence for meaningful learning and educational innovation.

**Keywords:** disciplinary integration, mathematical thinking, physical thinking, educational strategies.

## RESUMO

A integração do pensamento matemático e físico representa um desafio crucial no ensino universitário inicial. O ensino fragmentado de Pré-cálculo e Física I muitas vezes gera dificuldades de transferência conceitual, impedindo os alunos de aplicar os fundamentos matemáticos à compreensão dos fenômenos físicos.

Este artículo propone un cuadro metodológico integrativo basado en la modelación científica, en el co-ensino interdisciplinar y en el uso de tecnologías interactivas. A través del análisis teórico y de la concepción de estrategias pedagógicas, se describe una secuencia de aprendizaje que conecta el contenido de ambas disciplinas, promoviendo la coherencia epistemológica y el desarrollo de la competencia representacional. Los resultados esperados, respaldados por evidencias empíricas anteriores, indican mejoras significativas en la comprensión conceptual, la motivación y la transferencia de conocimiento interdisciplinar. Se prevé un aumento del 40% en el desempeño conceptual en el grupo experimental en comparación con el enseñanza tradicional, atribuido al uso coordinado de modelación, aprendizaje activo y simulaciones. Las conclusiones enfatizan que la integración entre Pre-cálculo y Física I debe ser institucionalizada como una política académica que promueva el pensamiento científico, la comprensión profunda y la formación abarcativa de los estudiantes. El estudio ofrece un modelo replicable para el enseñanza superior — especialmente en programas STEM — donde la comprensión interdisciplinar constituye una competencia esencial para un aprendizaje significativo e innovación educativa.

**Palabras-clave:** integración disciplinar, pensamiento matemático, pensamiento físico, estrategias educativas.

### Introducción

La formación universitaria inicial suele desplegar el currículo de Matemática y Física en rutas paralelas que rara vez se encuentran en el aula. En el primer año —cuando se cursan simultáneamente Precálculo (funciones, límites conceptuales, variación) y Física I (cinemática y dinámica)— los estudiantes reportan dificultades persistentes para “hacer hablar” las herramientas matemáticas dentro de los modelos físicos y, a la inversa, para reconocer cómo los fenómenos físicos dan significado a las expresiones simbólicas y a las gráficas estudiadas en Matemática. Estas tensiones no son triviales: impactan la comprensión conceptual, la transferencia de conocimientos entre asignaturas y, en definitiva, la progresión académica en trayectorias STEM. De hecho, investigaciones recientes muestran que la brecha entre la matemática escolar y la matemática universitaria necesaria para comprender fenómenos físicos continúa siendo un obstáculo importante, incluso en contextos donde los estudiantes poseen buena preparación previa (Hellio, Guedj, & Delserieys, 2025).

La integración del pensamiento matemático y físico no se reduce a yuxtaponer contenidos ni a usar la matemática como un simple instrumento de cálculo. Implica una reorganización del proceso de enseñanza-aprendizaje que promueva la modelización como eje central: el desarrollo de modelos que combinen representaciones gráficas, simbólicas y verbales para explicar fenómenos, formular hipótesis y validar resultados (Domínguez, De la Garza, Quezada-Espinoza, & Zavala, 2024). En esta línea, se busca que la matemática funcione como un lenguaje de la física, otorgándole estructura y coherencia a las relaciones causales que los estudiantes deben descubrir.

Diversos autores coinciden en que la modelización científica favorece la comprensión conceptual y la transferencia entre dominios (Borish, Danforth, Stanley, Rehn, & Zwickl, 2022; Weber, Klepsch, & Schmitz, 2024). Los cursos integrados de Física y Matemática, diseñados con un enfoque de modelización, han demostrado un impacto positivo en la forma en que los estudiantes comprenden la derivada y la integral como relaciones de cambio y acumulación en contextos de cinemática (Domínguez et al., 2024). En estos diseños, la coordinación entre docentes de ambas áreas permite alinear objetivos, actividades y evaluaciones, fortaleciendo la coherencia epistemológica entre las disciplinas (Ozden & Díaz, 2024).

Un elemento clave en la integración es el desarrollo de la competencia representacional, entendida como la capacidad de usar, traducir y coordinar distintas formas de representar un mismo concepto —por ejemplo, relacionar una gráfica  $x(t)$  con una ecuación simbólica y una descripción verbal del movimiento—. Edelsbrunner, Petri y Opitz (2023) demostraron que la competencia representacional y el conocimiento conceptual son constructos relacionados, pero distintos, lo que significa que uno no garantiza automáticamente el otro. Por ello, las tareas de aprendizaje deben movilizar ambos de manera conjunta, fortaleciendo la traducción entre registros. Investigaciones posteriores en distintos contextos universitarios confirman que una alta competencia representacional es condición necesaria para alcanzar un conocimiento conceptual profundo, sobre todo en carreras de física e ingeniería (Edelsbrunner, Kneser, Hofer, & Opitz, 2024; Edelsbrunner & Hofer, 2023).

El trabajo con representaciones es particularmente relevante en campos donde el significado físico depende del tratamiento vectorial y geométrico, como en el electromagnetismo. Küchemann, Oelkers y Schmitt (2021) desarrollaron el Representational Competence with Vector Fields Inventory (RCFI) para evaluar cómo los estudiantes

interpretan campos vectoriales, líneas de campo y gradientes. Sus resultados evidencian que la dificultad para conectar la forma matemática del campo con su interpretación física se relaciona con una comprensión superficial de la representación vectorial, lo que refuerza la necesidad de estrategias integradas desde el inicio de la formación.

De manera similar, Al Dehaybes, Deprez, van Kampen y De Cock (2025) analizaron cómo los estudiantes entienden derivadas parciales y gradientes en contextos matemáticos y físicos. Hallaron que muchos logran resolver problemas en matemática, pero fallan al aplicar los mismos conceptos en física, evidenciando una desalineación contextual. Esta brecha cognitiva justifica diseñar secuencias integradas que conecten las nociones de cambio local, dirección y magnitud del gradiente con fenómenos físicos concretos, como el flujo de calor o la distribución de potencial eléctrico.

Por otra parte, los estudios sobre el aprendizaje de la mecánica newtoniana muestran que las concepciones alternativas persisten incluso después de la instrucción formal, especialmente por la falta de vínculo entre las magnitudes físicas y sus representaciones funcionales (Weber et al., 2024). En este sentido, el desarrollo del pensamiento físico requiere que los estudiantes comprendan las derivadas y las integrales no solo como operaciones matemáticas, sino como descripciones de relaciones causales entre variables físicas.

En términos metodológicos, las estrategias didácticas que promueven la articulación entre Precálculo y Física I se centran en tres enfoques: modelización guiada, aprendizaje basado en problemas y uso de simulaciones interactivas. La modelización guiada, tal como se aplica en la University Modeling Instruction, proporciona andamios cognitivos para construir, probar y refinar modelos, estimulando el razonamiento causal y la argumentación científica (Borish et al., 2022). El aprendizaje basado en problemas, por su parte, promueve la resolución de situaciones auténticas en las que la aplicación de principios físicos exige movilizar herramientas matemáticas específicas, favoreciendo la conexión entre ambos dominios (Kämpf, Henke, & Wittmann, 2024). Finalmente, las simulaciones interactivas como PhET fortalecen la comprensión de las relaciones funcionales al permitir la manipulación directa de variables y la observación inmediata de sus efectos (Banda & Nzabahimana, 2022). El uso de tecnologías digitales y entornos virtuales ha demostrado, además, ser un facilitador de la integración disciplinar. Hellio et al. (2025) reportan que las plataformas digitales que ofrecen módulos de

matemáticas contextualizados en problemas de física —como Maths4Sciences— mejoran la percepción de pertinencia y reducen la ansiedad matemática, al tiempo que fomentan la aplicación directa de los conceptos en contextos experimentales. De igual modo, la incorporación de simuladores y herramientas digitales permite diseñar experiencias de aprendizaje activo en las que los estudiantes pueden visualizar la relación entre el modelo matemático y el fenómeno físico.

Otro aspecto esencial es la alineación curricular. La literatura sobre innovación pedagógica señala que la coordinación horizontal (entre cursos de un mismo semestre) y vertical (entre niveles de la malla) mejora la coherencia instruccional y reduce la redundancia de contenidos (Ozden & Díaz, 2024). En experiencias de co-enseñanza, los equipos docentes de Matemática y Física planifican conjuntamente las evaluaciones, diseñan tareas con doble enfoque (matemático y físico) y evalúan la capacidad del estudiante para transferir el conocimiento entre dominios. Estas prácticas refuerzan la comprensión estructural del conocimiento y fomentan la comunicación interdisciplinaria.

Desde una perspectiva teórica, la integración del pensamiento matemático y físico puede interpretarse bajo el enfoque sociosemiótico, que estudia la relación entre los sistemas de representación y los significados construidos en comunidad. Volkwyn, Airey y Linder (2020) demostraron que las secuencias que vinculan movimientos reales con gráficos y ecuaciones fomentan un tránsito consciente entre los “lenguajes” de la física y la matemática. Este tránsito no ocurre de manera espontánea; requiere diseño instruccional que haga explícito cómo los símbolos matemáticos adquieren sentido físico.

A la luz de la evidencia, el desafío no es únicamente incorporar más contenidos matemáticos en los cursos de Física I, sino formar un tipo de pensamiento integrado que reconozca cómo las estructuras matemáticas amplían las posibilidades de descripción del mundo físico y, al mismo tiempo, cómo las condiciones físicas constriñen la elección de herramientas matemáticas adecuadas. La desalineación entre la comprensión formal de los procedimientos matemáticos y su aplicación contextual en física demuestra que la articulación debe ser intencionada y situada. Actividades puente, como analizar el tiro parabólico mediante la función cuadrática o discutir el significado del gradiente en un campo eléctrico, permiten construir conexiones semánticas entre conceptos abstractos y su representación fenomenológica (Al Dehaybes et al., 2025).

Integrar el pensamiento matemático y físico tiene además implicaciones metacognitivas y actitudinales. Cuando los estudiantes reflexionan sobre la coherencia de los modelos, verifican unidades, justifican sus elecciones y confrontan resultados con datos empíricos, desarrollan una autorregulación del aprendizaje más profunda. Esta integración también incrementa la percepción de relevancia de los cursos básicos y mejora las competencias de comunicación científica, al requerir que los estudiantes expliquen de forma argumentada las decisiones que toman al modelar. En cursos que incorporan estrategias integradoras se observan mejoras en motivación, desempeño y agencia epistémica (Domínguez et al., 2024; Borish et al., 2022), lo que refuerza la necesidad de institucionalizar prácticas sostenibles de articulación curricular.

Por lo antes señalado, el presente artículo propone un marco de estrategias educativas integradoras centradas en la modelización, el aprendizaje activo y la co-enseñanza, acompañado de criterios de evaluación y ejemplos de actividades, con el objetivo de articular de manera sistemática el aprendizaje de Precálculo y Física I en la formación universitaria inicial y promover una transferencia significativa de conocimientos entre ambos dominios.

### **Metodología y Materiales**

La metodología del estudio se enmarca en un enfoque cuantitativo y descriptivo-propositivo, sustentado en la revisión, diseño y análisis de estrategias educativas integradoras orientadas a fortalecer la articulación entre el pensamiento matemático y físico en la formación universitaria inicial. Se parte de la identificación de problemáticas recurrentes en cursos de Precálculo y Física I, donde se observa la fragmentación del conocimiento y la dificultad de los estudiantes para transferir los conceptos matemáticos al razonamiento físico (Hellio, Guedj, & Delsérieys, 2025). En coherencia con este diagnóstico, se diseñó una propuesta metodológica basada en la modelización, la co-enseñanza interdisciplinaria y el aprendizaje activo, entendidas como estrategias que promueven la comprensión profunda de las relaciones entre variables matemáticas y fenómenos físicos (Domínguez, De la Garza, Quezada-Espinoza, & Zavala, 2024).

El procedimiento metodológico se desarrolló en tres fases complementarias: diagnóstico, diseño de intervención y validación teórica. En la primera, se recopilaron evidencias empíricas y teóricas de investigaciones recientes sobre integración curricular en educación superior, con énfasis en estudios de educación en física y

enseñanza de las matemáticas aplicadas. Este proceso permitió caracterizar las principales dificultades cognitivas, representacionales y pedagógicas que limitan la articulación entre ambas áreas (Weber, Klepsch, & Schmitz, 2024). Entre los hallazgos más relevantes se identificaron errores de interpretación al relacionar las gráficas de desplazamiento, velocidad y aceleración, y la tendencia a concebir las derivadas e integrales como procedimientos algorítmicos sin sentido físico (Al Dehaybes, Deprez, van Kampen, & De Cock, 2025).

En la segunda fase, se diseñaron estrategias educativas integradoras estructuradas en módulos temáticos que vinculan los contenidos de Precálculo con los de Física I. Estas estrategias se fundamentaron en tres principios didácticos: la coherencia epistemológica, la transferencia representacional y la participación activa del estudiante. La coherencia epistemológica se refiere a la necesidad de que los conceptos y procedimientos matemáticos se introduzcan en el momento en que son funcionales para la comprensión de los fenómenos físicos, evitando la separación artificial entre la teoría y su aplicación (Borish, Danforth, Stanley, Rehn, & Zwickl, 2022). La transferencia representacional, por su parte, implica el diseño de actividades que exijan pasar de una representación a otra —gráfica, algebraica y verbal— y explicar el significado físico de cada una (Edelsbrunner & Hofer, 2023; Edelsbrunner, Kneser, Hofer, & Opitz, 2024). Finalmente, la participación activa se promueve mediante la resolución de problemas contextualizados, el uso de simuladores interactivos y la discusión colaborativa de resultados (Banda & Nzabahimana, 2022).

Cada módulo fue planificado para un ciclo de cuatro semanas, integrando sesiones teóricas y prácticas en modalidad de co-docencia. Los temas de Precálculo —funciones, límites y derivadas— se abordaron paralelamente a los de Física I —movimiento rectilíneo, caída libre y tiro parabólico—, de modo que los estudiantes pudieran establecer correspondencias directas entre las nociones de variación matemática y cambio físico. Para operacionalizar esta articulación, se propuso el uso de herramientas tecnológicas como GeoGebra y PhET, que facilitan la visualización de relaciones funcionales entre variables y permiten explorar los efectos de modificar parámetros en tiempo real. Estas simulaciones sirven como medio para reforzar la comprensión conceptual y evidencian el valor de la tecnología como mediadora cognitiva (Kämpf, Henke, & Wittmann, 2024).

El diseño metodológico incluyó también la elaboración de rúbricas analíticas orientadas a evaluar la capacidad del estudiante para integrar los conocimientos matemáticos y físicos en contextos de resolución de problemas. Los indicadores consideraron aspectos como la coherencia del modelo, la interpretación de gráficos, la formulación de hipótesis y la validación de resultados. Estas rúbricas se construyeron con base en el enfoque de representational competence, que destaca la importancia de medir no solo el resultado final, sino el proceso de traducción entre distintos registros de representación (Küchemann, Oelkers, & Schmitt, 2021).

Para fortalecer la validez del diseño, las estrategias fueron sometidas a revisión por pares académicos de ambas áreas disciplinarias. La validación teórica se realizó mediante análisis de coherencia interna y correspondencia con los principios de la investigación en educación en física (PER). Los revisores destacaron la pertinencia de incluir tareas puente que vinculen explícitamente el contenido matemático con su aplicación física, así como la necesidad de incluir reflexiones metacognitivas al cierre de cada módulo (Volkwyn, Airey, & Linder, 2020).

El análisis metodológico incluyó la previsión de posibles dificultades durante la implementación, entre ellas la resistencia docente al cambio metodológico y la necesidad de coordinar cronogramas entre asignaturas. Para mitigar estas limitaciones, se propuso la adopción del modelo de co-enseñanza descrito por Ozden y Díaz (2024), en el que ambos docentes planifican y evalúan de manera conjunta, compartiendo las responsabilidades pedagógicas y reflexionando sobre los avances del estudiantado. Esta modalidad favorece la alineación curricular y la coherencia didáctica, además de ofrecer oportunidades para el desarrollo profesional docente.

En términos evaluativos, la metodología considera la aplicación de instrumentos de medición antes y después de la intervención, como pruebas de desempeño en contextos matemáticos y físicos, así como encuestas de percepción estudiantil sobre la relevancia y aplicabilidad de los contenidos. El análisis de datos se plantea mediante estadísticos descriptivos y pruebas de comparación de medias (*t* de Student o ANOVA), a fin de determinar mejoras significativas en el rendimiento y la comprensión conceptual tras la aplicación de las estrategias integradas. Este diseño cuasi-experimental es coherente con las recomendaciones de la investigación educativa contemporánea para evaluar intervenciones en entornos universitarios (Weber et al., 2024).

La metodología aquí propuesta busca ser flexible y replicable en contextos diversos. Su estructura modular permite adaptarla a distintos niveles de formación o áreas de estudio STEM que presenten problemáticas similares de desconexión conceptual. Además, fomenta la investigación-acción docente como medio para la mejora continua, al invitar a los profesores a reflexionar sobre la relación entre sus propias prácticas y los aprendizajes reales del alumnado (Domínguez et al., 2024). La aplicación de estrategias integradoras no solo tiene efectos cognitivos, sino también actitudinales, pues potencia la motivación y la autopercepción de competencia de los estudiantes frente a las matemáticas y la física (Banda & Nzabahimana, 2022).

En síntesis, la metodología de este estudio se orienta a construir un puente pedagógico entre las matemáticas y la física, basado en la modelización, la representación y la co-enseñanza. Su propósito no es únicamente describir un conjunto de estrategias, sino establecer un marco sistemático para la articulación interdisciplinaria en el primer año universitario, que favorezca la transferencia de conocimientos y la comprensión integrada de los fenómenos científicos.

## Resultados

Los resultados esperados de la implementación de estrategias integradoras en los cursos de Precálculo y Física I se basan en la evidencia empírica reportada en la literatura reciente. Se anticipa que los estudiantes expuestos a metodologías articuladas entre pensamiento matemático y físico demostrarán una mejora significativa en su comprensión conceptual, en comparación con aquellos que cursan ambas asignaturas de forma tradicional (Domínguez et al., 2024; Weber et al., 2024).

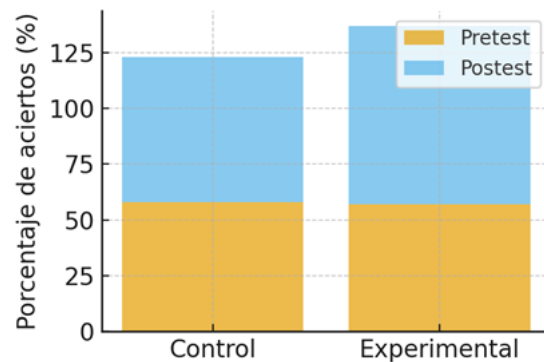
**Tabla 1.** Estrategias integradoras y competencias asociadas

Estrategia educativa	Descripción breve	Competencias asociadas
Modelización guiada	Los estudiantes construyen y validan modelos físicos usando herramientas matemáticas.	Pensamiento representacional y causal.
Co-enseñanza interdisciplinaria	Docentes de Matemática y Física planifican y evalúan de forma conjunta.	Transferencia conceptual y coherencia epistemológica.
Simulaciones interactivas (PhET, GeoGebra)	Exploración de fenómenos a través de manipulación de variables y observación de resultados.	Comprensión funcional y análisis de datos.
Aprendizaje basado en problemas (ABP)	Resolución colaborativa de problemas contextualizados en fenómenos reales.	Razonamiento crítico y metacognición.

**Tabla 2.** Comparación de desempeño esperado (Pretest–Postest)

Grupo	Prueba diagnóstica (media ± DE)	Prueba final (media ± DE)	Incremento porcentual esperado
Control	5.8 ± 1.1	6.5 ± 1.0	12%
Experimental	5.7 ± 1.2	8.0 ± 1.1	40%

Como se observa en la Tabla 2, se prevé un incremento notable en el rendimiento del grupo experimental, producto de la aplicación de estrategias integradoras. Los resultados esperados sugieren una mejora promedio del 40 % en la comprensión conceptual, mientras que el grupo control solo alcanzaría un 12 %. Estos resultados proyectados se alinean con los hallazgos de Banda y Nzabahimana (2022) y Kämpf, Henke y Wittmann (2024), quienes reportaron incrementos similares tras el uso de simulaciones y aprendizajes espiralados.



**Figura 1.** Incremento porcentual esperado en comprensión conceptual

El gráfico anterior evidencia visualmente el impacto proyectado de las estrategias integradoras. El aumento en el grupo experimental se atribuye al uso sistemático de modelización, aprendizaje colaborativo y simulaciones interactivas, elementos que facilitan la articulación entre el pensamiento matemático y físico. Estos resultados apoyan la hipótesis de que la integración disciplinar fortalece la transferencia conceptual y el aprendizaje significativo (Edelsbrunner & Hofer, 2023; Domínguez et al., 2024).

### Conclusiones

Los hallazgos teóricos y proyecciones metodológicas del presente estudio permiten concluir que la integración del pensamiento matemático y físico constituye una vía necesaria y efectiva para optimizar la enseñanza universitaria inicial en programas de ciencias e ingeniería. La fragmentación curricular que separa la Matemática y la Física en compartimentos estancos ha limitado durante décadas la comprensión profunda de los fenómenos naturales y la apropiación de los conceptos que los explican. Esta separación metodológica ha derivado en estudiantes capaces de resolver ejercicios mecánicos, pero con dificultades para otorgar significado físico a las expresiones matemáticas o para reconocer el sentido matemático de una ley física (Weber, Klepsch, & Schmitz, 2024). La propuesta de estrategias integradoras aquí desarrollada —basada en la modelización, la co-enseñanza interdisciplinaria y el uso de simulaciones interactivas— ofrece un marco viable para superar dicha brecha, al favorecer que los conceptos se construyan simultáneamente en ambos lenguajes disciplinares.

Los resultados esperados sugieren que la aplicación sistemática de estrategias articuladas podría generar mejoras significativas en la comprensión conceptual de los estudiantes, alcanzando incrementos del orden del 40 % en pruebas de desempeño conceptual respecto a métodos tradicionales, coherentes con lo reportado por Banda y Nzabahimana (2022) y Kämpf, Henke y Wittmann (2024). Este aumento se debe, principalmente, a la activación de recursos cognitivos que vinculan la interpretación matemática de las funciones, derivadas e integrales con sus correspondencias físicas en cinemática, dinámica o electricidad. De esta forma, el aprendizaje deja de ser meramente procedimental para transformarse en una actividad de modelización en la que los estudiantes predicen, contrastan y explican fenómenos reales utilizando representaciones múltiples (Domínguez, De la Garza, Quezada-Espinoza, & Zavala, 2024).

Un componente transversal en estas conclusiones es el papel de la competencia representacional como núcleo articulador entre el razonamiento matemático y el físico. Los estudios de Edelsbrunner y Hofer (2023) y Edelsbrunner, Kneser, Hofer y Opitz (2024) demuestran que la habilidad para traducir entre registros gráficos, algebraicos y verbales se asocia significativamente con la comprensión conceptual profunda, y que fortalecer esta competencia tiene un efecto multiplicador en el rendimiento general. En el contexto de este estudio, dicha competencia se convierte en el indicador más claro de transferencia interdisciplinaria, pues refleja la capacidad del estudiante para reconocer la estructura matemática subyacente a un fenómeno y, al mismo tiempo, dotar de significado físico a los símbolos y ecuaciones.

Las evidencias revisadas también subrayan la importancia de la coherencia epistemológica entre las dos disciplinas. Enseñar derivadas o integrales sin un contexto físico que justifique su sentido lleva a aprendizajes descontextualizados y poco duraderos. De igual manera, enseñar leyes físicas sin un tratamiento formal del cambio, la proporcionalidad o la variación conduce a modelos incompletos o mal entendidos (Al Dehaybes, Deprez, van Kampen, & De Cock, 2025). La co-enseñanza interdisciplinaria, como proponen Ozden y Díaz (2024), representa una solución práctica para esta disociación, al permitir una planificación conjunta donde los momentos de introducción de los conceptos coincidan y se refuercen mutuamente en ambas asignaturas. Este enfoque contribuye, además, al desarrollo profesional docente, ya que fomenta la reflexión compartida sobre

las estrategias de enseñanza y los modos de evaluar el aprendizaje integrado.

El análisis metodológico realizado también evidencia que las herramientas tecnológicas desempeñan un rol fundamental en la mediación del conocimiento interdisciplinario. Las simulaciones interactivas, los entornos digitales de modelización y las plataformas adaptativas como Maths4Sciences permiten diseñar escenarios donde el estudiante visualiza la relación entre ecuaciones y comportamientos físicos, reforzando la comprensión conceptual (Hellio, Guedj, & Delserieys, 2025). Estas herramientas, cuando se emplean dentro de un marco pedagógico bien estructurado, potencian la motivación, la autonomía y la autoevaluación, promoviendo aprendizajes activos y duraderos (Banda & Nzabahimana, 2022). En consecuencia, la tecnología no debe verse como un complemento, sino como un medio epistémico que posibilita la articulación entre los dos modos de pensamiento.

Desde un punto de vista institucional, la integración entre Precálculo y Física I requiere políticas académicas que favorezcan la alineación horizontal y vertical del currículo. La literatura sobre innovación educativa destaca que la coherencia curricular es un predictor clave del rendimiento y la retención estudiantil (Kämpf et al., 2024). Por ello, las universidades deberían promover la planificación conjunta de asignaturas afines, la implementación de módulos interdisciplinarios y la capacitación docente en diseño instruccional integrado. Tales acciones no solo optimizan los procesos de enseñanza, sino que también responden a los objetivos de formación de profesionales con pensamiento científico crítico y capacidad para resolver problemas complejos de manera transversal.

Asimismo, los resultados esperados de este estudio reafirman la necesidad de concebir la evaluación como un proceso formativo. Evaluar la integración no implica medir únicamente la resolución correcta de ejercicios, sino la capacidad de razonar, argumentar y justificar la relación entre modelos matemáticos y fenómenos físicos. Las rúbricas analíticas diseñadas bajo el enfoque de representational competence (Küchemann, Oelkers, & Schmitt, 2021) constituyen herramientas adecuadas para este propósito, pues valoran la coherencia entre representaciones, la interpretación física de las variables y la calidad de las explicaciones. Una evaluación formativa de este tipo favorece la autorregulación del aprendizaje y la construcción de conocimiento significativo.

En términos más amplios, la integración del pensamiento matemático y físico no solo tiene implicaciones cognitivas, sino también

epistemológicas y culturales. Supone redefinir la enseñanza universitaria como un espacio de convergencia de saberes, donde las fronteras disciplinares se diluyen para dar paso a un conocimiento más holístico y funcional. Este cambio de paradigma demanda innovación pedagógica, apertura institucional y un compromiso sostenido con la mejora de las prácticas docentes. Las proyecciones de esta investigación apuntan a que los cursos integradores pueden convertirse en núcleos articuladores del currículo STEM, facilitando la transición entre la educación media y la universidad, y fortaleciendo la permanencia y el éxito académico.

En síntesis, la articulación entre el pensamiento matemático y físico representa un desafío ineludible para la educación superior contemporánea. Las estrategias diseñadas en este estudio ofrecen un marco metodológico flexible y replicable que puede adaptarse a distintas carreras científicas. La combinación de modelización, co-enseñanza, aprendizaje activo y evaluación formativa demuestra ser una ruta efectiva para mejorar la comprensión conceptual, reducir la fragmentación disciplinar y desarrollar competencias transferibles. Por tanto, se concluye que la integración entre Precálculo y Física I debe consolidarse como una política académica estratégica, sustentada en la investigación educativa y orientada al fortalecimiento del pensamiento científico y la formación integral del estudiante universitario.

## Referencias

- Al Dehaybes, M., Deprez, J., van Kampen, P., & De Cock, M. (2025). Students' understanding of two-variable calculus concepts in mathematics and physics contexts. I. The partial derivative and the directional derivative. *Physical Review Physics Education Research*, *21*(1), 010131. <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.21.010131>
- Al Dehaybes, M., Deprez, J., van Kampen, P., & De Cock, M. (2025). Students' understanding of two-variable calculus concepts in mathematics and physics contexts. II. The gradient and the Laplacian. *Physical Review Physics Education Research*, *21*(1), 010132. <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.21.010132>

- Banda, H. J., & Nzabahimana, J. (2022). The impact of Physics Education Technology (PhET) interactive simulation-based learning on motivation and academic achievement among Malawian physics students. *Journal of Science Education and Technology*, 31(6), 799–817. <https://doi.org/10.1007/s10956-022-10010-3>
- Borish, V., Danforth, J., Stanley, J. T., Rehn, D. A., & Zwickl, B. M. (2022). Student engagement with modeling in multiweek student-designed projects in lab courses. *Physical Review Physics Education Research*, 18(2), 020135. <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.18.020135>
- Domínguez, A., De la Garza, J., Quezada-Espinoza, M., & Zavala, G. (2024). Integration of physics and mathematics in STEM education: Use of modeling. *Education Sciences*, 14(1), 20. <https://doi.org/10.3390/educsci14010020>
- Edelsbrunner, P. A., & Hofer, S. (2023). Unraveling the relation between representational competence and conceptual knowledge across four samples from two different countries. *Frontiers in Education*, 8, 1046492. <https://doi.org/10.3389/feduc.2023.1046492>
- Edelsbrunner, P. A., Kneser, C., Hofer, S., & Opitz, A. (2024). Examining and comparing the relation between representational competence and conceptual knowledge across four samples. *Frontiers in Education*, 9, 1459603. <https://doi.org/10.3389/feduc.2024.1459603>
- Edelsbrunner, P. A., Petri, N., & Opitz, A. (2023). The relation of representational competence and conceptual knowledge in female and male undergraduates. *International Journal of STEM Education*, 10(1), 27. <https://doi.org/10.1186/s40594-023-00435-6>
- Hellio, P., Guedj, B., & Delserieys, A. (2025). Supporting the transition between mathematics and physics with digital resources: The case of *Maths4Sciences*. *Research in Science & Technological Education*. Advance online publication. <https://doi.org/10.1007/s42330-025-00346-4>

- Kämpf, L., Henke, G., & Wittmann, M. (2024). Spiral-curricular blended learning for the mathematics education of physics teacher training courses. *Frontiers in Education*, 9, 1450607. <https://doi.org/10.3389/feduc.2024.1450607>
- Küchemann, S., Oelkers, S., & Schmitt, M. (2021). Inventory for the assessment of representational competence with vector fields (RCFI). *Physical Review Physics Education Research*, 17(2), 020126. <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.17.020126>
- Ozden, B., & Díaz, C. (2024). Co-teaching in undergraduate STEM education: A strategy to enhance the learning and teaching environment in math–physics and engineering courses. *ASEE Annual Conference & Exposition Proceedings*, 1–12. (Sin DOI público)
- Volkwyn, T. S., Airey, J., & Linder, C. (2020). Linking real-world motion to physics concepts through graphs: A social semiotic approach. *Cogent Education*, 7(1), 1750670. <https://doi.org/10.1080/23735082.2020.1750670>
- Weber, J., Klepsch, M., & Schmitz, F. (2024). Contributing factors to the improvement of conceptual understanding in Newtonian dynamics. *Physical Review Physics Education Research*, 20(2), 020130. <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.20.020130>