
Beyond the Equation: Articulation Between Conceptual Mental Models and Mathematical Formalism in Physics Students © 2026 by **Ginger Dayana Gómez** is licensed under **CC BY-SA 4.0**

MÁS ALLÁ DE LA ECUACIÓN: ARTICULACIÓN ENTRE MODELOS MENTALES CONCEPTUALES Y FORMALISMO MATEMÁTICO EN ESTUDIANTES DE FÍSICA

Beyond the Equation: Articulation Between Conceptual Mental Models and Mathematical Formalism in Physics Students

Ginger Dayana Gómez

Profesora de Física, Ministerio de Educación de Panamá (MEDUCA), Colegio Mariano Prados Araúz, Natá, Coclé, Panamá,
ginger_gomez08@outlook.com

Centro de Investigación y Formación Continua del Claustro Gómez (CIFOC), Panamá

Electronic mail address: academica@claustrogomez.org

ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-1490-4073>

Article history:

Received August 15, 2026

Received in revised from August 15, 2026

Accepted August 28, 2026

Available online August 28, 2026

RESUMEN

La comprensión de la relación entre los modelos mentales conceptuales y el formalismo matemático constituye un desafío en el aprendizaje de la física a nivel de educación media. El objetivo de esta investigación fue develar la estructura de la articulación cualitativa entre los modelos mentales conceptuales y el formalismo matemático en estudiantes de alto rendimiento académico de décimo grado del Colegio Mariano Prados Araúz. Se desarrolló un estudio con enfoque cualitativo e interpretativo, utilizando un Cuestionario Likert de Profundización Cualitativa aplicado a una muestra intencional de estudiantes. Los datos permitieron analizar las representaciones conceptuales, las estrategias de resolución de problemas y los procesos metacognitivos empleados durante el aprendizaje de la física. Los resultados evidenciaron una marcada disociación entre el dominio procedimental y la comprensión conceptual: aunque los estudiantes demostraron un adecuado manejo de algoritmos, notación científica y procedimientos matemáticos, presentaron dificultades para integrar el formalismo matemático con la interpretación física de los fenómenos. Se concluye que es necesario fortalecer estrategias didácticas que favorezcan la construcción de modelos mentales integrados y promuevan una articulación efectiva entre la comprensión conceptual y el lenguaje matemático en la enseñanza de la física.

Palabras Claves: *Modelos mentales, formalismo matemático, didáctica de la física, evidencia de campo, educación media, confidencialidad ética.*

ABSTRACT

Understanding the relationship between conceptual mental models and mathematical formalism constitutes a challenge in learning physics at the level of secondary education. The objective of this investigation was to reveal the structure of the qualitative articulation between conceptual mental models and mathematical formalism in high-performance tenth-grade students at the Mariano Prados Araúz School. A study was developed with a qualitative and interpretative focus, using a Qualitative Profundization Likert Questionnaire applied to an intentional student sample. The data allowed us to analyze conceptual representations, problem-solving strategies and metacognitive processes employed during physics learning. The results evidenced a marked dissociation between the procedural domain and conceptual understanding: even though students demonstrated an adequate handling of algorithms, scientific notation and mathematical procedures, they presented difficulties in integrating mathematical formalism with the physical interpretation of phenomena. It is concluded that it is necessary to strengthen didactic strategies that favor the construction of integrated mental models and promote an effective articulation between conceptual understanding and mathematical language in physics teaching.

Keywords: *Mental models, mathematical formalism, physics teaching, field evidence, media education, ethical confidentiality.*

1. INTRODUCCIÓN

La enseñanza de la física en el nivel secundario ha enfrentado históricamente un desafío epistemológico: la tendencia a reducir la comprensión de los fenómenos naturales a la mera manipulación algebraica de fórmulas matemáticas. En el contexto de la educación media en Panamá,

bajo el marco curricular del Ministerio de Educación (MEDUCA), la transición de los estudiantes hacia el estudio formal de la física clásica en décimo grado demanda no solo la adquisición de competencias operacionales, sino también la construcción de modelos mentales que permitan otorgar significado físico a las expresiones cuantitativas.

Diversas investigaciones en didáctica de la física sostienen que los modelos mentales constituyen representaciones cognitivas que facilitan la interpretación, explicación y predicción de los fenómenos físicos. Cuando estas representaciones logran articularse con el formalismo matemático, los estudiantes desarrollan una comprensión más profunda y significativa de los conceptos. Sin embargo, la evidencia reciente indica que incluso estudiantes con alto rendimiento académico suelen resolver correctamente los problemas mediante procedimientos algorítmicos, pero presentan dificultades para establecer conexiones entre las ecuaciones y el significado físico que estas representan (Kuo et al., 2020; Setiono et al., 2025).

En este contexto, el objetivo principal de la presente investigación fue develar la estructura de la articulación cualitativa entre los modelos mentales conceptuales y el formalismo matemático en una cohorte de estudiantes de alto rendimiento de décimo grado del Colegio Mariano Prados Araúz, ubicado en el distrito de Natá, provincia de Coclé. Para ello, se analizaron las explicaciones y justificaciones proporcionadas por los participantes durante la aplicación de un instrumento de profundización cualitativa diseñado específicamente para este estudio. A partir de este análisis, la investigación buscó responder a la siguiente interrogante: **¿De qué manera interactúan la intuición física, la mecanización matemática y los procesos metacognitivos en la construcción de la comprensión conceptual de la física?**

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Modelos Mentales y Razonamiento Físico

Los modelos mentales constituyen representaciones cognitivas que permiten a los estudiantes interpretar, explicar y predecir el comportamiento de los fenómenos físicos, integrando la información conceptual con diversas representaciones externas, como ecuaciones,

diagramas, gráficos y simulaciones. En el aprendizaje de la física, estos modelos favorecen la construcción de explicaciones científicas y el desarrollo del razonamiento basado en evidencias, más allá de la aplicación mecánica de procedimientos matemáticos (Udosen & Magaña, 2026).

Desde la didáctica de las ciencias, el razonamiento basado en modelos se considera un proceso dinámico mediante el cual los estudiantes construyen, evalúan y modifican sus representaciones mentales para comprender sistemas físicos. Este proceso implica la interacción constante entre la comprensión conceptual, el uso del lenguaje matemático y la interpretación de múltiples representaciones, favoreciendo aprendizajes más profundos y significativos (Cascarosa et al., 2020).

Asimismo, la evidencia reciente indica que los estudiantes suelen presentar dificultades para establecer conexiones entre los conceptos físicos y las expresiones matemáticas cuando sus modelos mentales son incompletos o poco estructurados. En consecuencia, la enseñanza de la física debe promover estrategias didácticas que fortalezcan la construcción de modelos mentales científicos y el razonamiento conceptual, facilitando la articulación entre la comprensión de los fenómenos y su representación matemática (Setiono et al., 2025).

2.2. El Rol del Formalismo Matemático en Física

Redish (2005) destaca que la matemática en física no opera como un simple cálculo numérico, sino como un lenguaje de empaquetamiento de información conceptual. Aprender física implica desarrollar el 'sentido de las ecuaciones' (equation sense), lo que permite a un estudiante 'leer' una fórmula como la Segunda Ley de Newton:

$$F = m \cdot a$$

No como un mero algoritmo de multiplicación, sino como una relación causal equilibrada entre la interacción neta ejercida sobre una masa y la respuesta inercial del sistema manifestada en su tasa de cambio de velocidad.

2.3. Mecanización Algorítmica vs. Comprensión Conceptual

La resolución de problemas en física puede abordarse desde estrategias centradas en la aplicación mecánica de procedimientos matemáticos o mediante procesos que integran la comprensión conceptual con el razonamiento cuantitativo. La evidencia reciente señala que los estudiantes que resuelven problemas únicamente mediante la selección y manipulación de ecuaciones suelen obtener respuestas correctas desde el punto de vista procedimental, pero presentan dificultades para explicar el significado físico de los resultados o transferir sus conocimientos a situaciones nuevas (Kuo et al., 2020).

En contraste, el razonamiento matemático con sentido (*mathematical sensemaking*) implica establecer una relación coherente entre los conceptos físicos y las expresiones matemáticas durante todo el proceso de resolución. Este enfoque favorece que los estudiantes interpreten las ecuaciones como representaciones de fenómenos físicos y no únicamente como herramientas de cálculo, promoviendo soluciones más flexibles, precisas y fundamentadas conceptualmente (Kuo et al., 2020).

De igual manera, las investigaciones recientes en didáctica de las ciencias destacan que el aprendizaje significativo de la física requiere privilegiar el razonamiento mecanístico y la construcción de explicaciones científicas sobre la simple identificación de patrones o la aplicación rutinaria de algoritmos. Cuando la enseñanza enfatiza la comprensión de los mecanismos que explican los fenómenos, los estudiantes desarrollan una mayor capacidad para relacionar los conceptos físicos con su representación matemática y resolver problemas en contextos diversos (Tang et al., 2020).

3.1. Enfoque y Diseño de Investigación

La investigación se desarrolló bajo un enfoque cualitativo con alcance descriptivo-interpretativo, enmarcado en la fenomenografía pedagógica. Este

diseño permitió explorar e interpretar las distintas formas en que los estudiantes de alto rendimiento académico comprenden, representan y articulan los conceptos físicos con el formalismo matemático durante la resolución de problemas. Asimismo, favoreció el análisis de las variaciones en sus procesos de razonamiento, la construcción de modelos mentales y las estrategias metacognitivas empleadas para otorgar significado a los fenómenos físicos desde una perspectiva conceptual.

La información se obtuvo mediante un cuestionario de profundización cualitativa diseñado específicamente para esta investigación. El instrumento fue elaborado con el propósito de identificar las representaciones conceptuales de los estudiantes, las estrategias utilizadas en la resolución de problemas y el nivel de integración entre el razonamiento físico y el formalismo matemático. Su estructura combinó ítems en escala tipo Likert con preguntas abiertas de profundización, permitiendo obtener información descriptiva y explicativa sobre los procesos cognitivos desarrollados por los participantes.

3.2. Contexto, Participantes y Reserva Ética de Identidad

La investigación se llevó a cabo en las instalaciones del Colegio Mariano Prados Araúz (MEDUCA), ubicado en el distrito de Natá, provincia de Coclé, Panamá. La población objetivo comprendió una muestra intencional de ocho (8) estudiantes de alto rendimiento académico pertenecientes a los grupos de décimo grado (secciones A, B, C y D), seleccionados por su desempeño sobresaliente y su capacidad reflexiva. La información fue recopilada mediante el Cuestionario Likert de Profundización Cualitativa: Más allá de la ecuación: Articulación entre modelos mentales conceptuales y formalismo matemático en estudiantes de alto rendimiento en física, instrumento diseñado específicamente para esta investigación con el propósito de analizar las representaciones conceptuales, los procesos de

razonamiento físico, las estrategias metacognitivas y la articulación entre los modelos mentales y el formalismo matemático durante la resolución de problemas.

Figura 1.

Desarrollo de cuestionario por estudiante



Nota. Fotografía tomada por la autora.

En estricta observancia de los principios éticos que rigen la investigación científica en el ámbito educativo, se garantizó la reserva absoluta de la identidad de todos los estudiantes participantes. Para ello, se omitió cualquier información que permitiera su identificación en el cuerpo del trabajo, las tablas, los gráficos y las transcripciones de las respuestas, asegurando que los datos fueran presentados de forma confidencial, anonimizada y con fines exclusivamente académicos y científicos.

Figura 2.

Desarrollo de instrumento



Nota. Fotografía tomada por la autora.

Las sesiones de recolección de datos se desarrollaron en el Laboratorio de Física de la institución, espacio que proporcionó un entorno adecuado para la aplicación del instrumento y favoreció un ambiente de concentración y reflexión durante el desarrollo de la actividad. La aplicación del cuestionario fue realizada bajo la supervisión directa de la docente investigadora Ginger Dayana Gómez, quien orientó el proceso, resolvió las dudas de los participantes y verificó el cumplimiento de las condiciones establecidas para la recolección de la información. Como evidencia del trabajo de campo, se realizó un registro fotográfico de las sesiones, preservando en todo momento la confidencialidad y el anonimato de los estudiantes.

Figura 3.

Supervisión de Docente Investigadora Ginger Gómez



Nota. Fotografía tomada por la autora.

3.3. Evidencias Fotográficas del Trabajo de Campo

Para garantizar la validez procedimental y documentar la autenticidad de la recolección cualitativa en el laboratorio, se realizó un riguroso registro fotográfico de las sesiones de trabajo, el cual se presenta a continuación:

Figura 4.

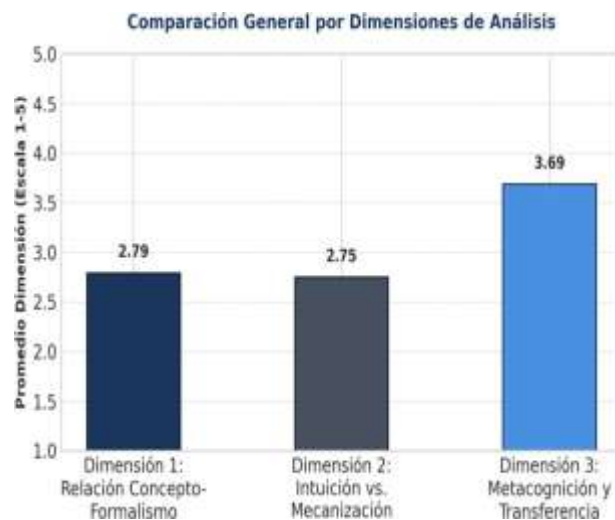
Estudiante en la fase de llenado del Cuestionario Likert de Profundización Cualitativa- Evidencia fotográfica de campo



Nota: Participante del C.M.P.A. durante el proceso de análisis individual y redacción manuscrita de las justificaciones cualitativas en la encuesta de investigación

Figura 5.

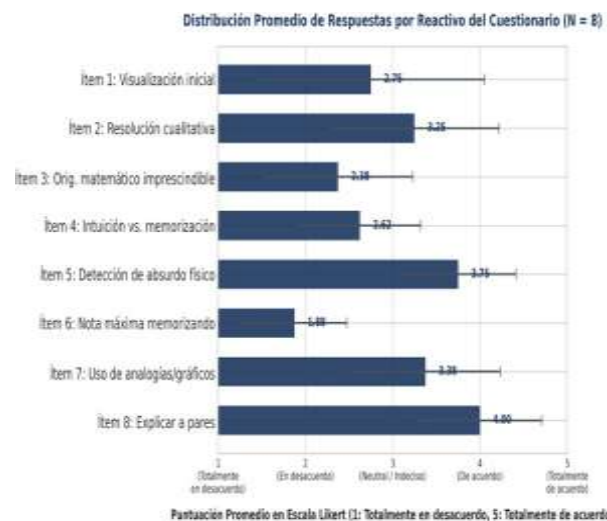
Desarrollo de la encuesta cualitativa en mesas del laboratorio de física. Evidencia fotográfica de campo



Nota: Distribución espacial de los encuestados alrededor de las mesas del laboratorio. Al fondo se observa la pizarra con conversiones de unidades y fórmulas físicas escritas (761.5 pies a m, 1850 gal a m^3), reflejando la dinámica de aula.

Figura 6.

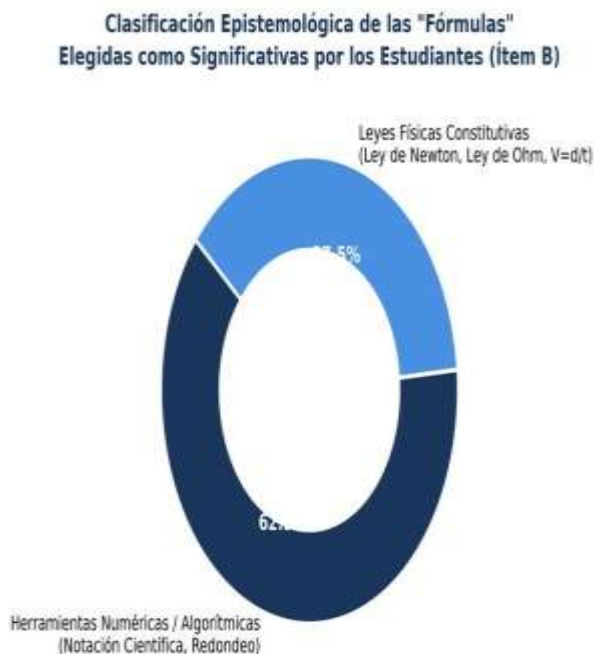
Desarrollo de la encuesta cualitativa en mesas del laboratorio de física



Nota: Distribución espacial de los encuestados alrededor de las mesas del laboratorio. Al fondo se observa la pizarra con conversiones de unidades y fórmulas físicas escritas (761.5 pies a m, 1850 gal a m^3), reflejando la dinámica de aula.

Figura 7.

Plano detalle del proceso de argumentación cualitativa sobre el cuestionario Likert



Nota: Evidencia en plano detalle de la argumentación escrita manuscrita del Ítem 1 ('Sí, dependiendo que fenómeno...'), constatando el trabajo cualitativo de la fuente primaria.

Figura 8.

Supervisión y control metodológico por parte de la Docente Investigadora Ginger Dayana Gómez



Nota: Fotografía de control metodológico donde la Profesora Ginger Gómez (MEDUCA) acompaña y supervisa la aplicación del instrumento de investigación en el laboratorio de física

Tabla 1.

Estructura del Cuestionario Likert de Profundización Cualitativa

Dimensión	Reactivo / Afirmación Evaluada	Ítem
Dimensión 1	Visualización del fenómeno físico real al ver una fórmula por primera vez.	Ítem 1
Dimensión 1	Resolución cualitativa previa a la realización de cálculos o despejes.	Ítem 2
Dimensión 1	Necesidad de comprender la derivación matemática para dominar el concepto.	Ítem 3
Dimensión 2	Uso de la intuición frente a la memorización al enfrentar problemas inéditos.	Ítem 4
Dimensión 2	Detección a priori de resultados absurdos mediante sentido físico.	Ítem 5
Dimensión 2	Factibilidad de obtener nota máxima mediante memorización procedimental.	Ítem 6
Dimensión 3	Uso de representaciones gráficas y analogías ante dificultades con fórmulas.	Ítem 7
Dimensión 3	Capacidad de explicar conceptos complejos en lenguaje sencillo a pares.	Ítem 8

Nota: De auditoria por autora

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis cualitativo y cuantitativo de las respuestas obtenidas mediante el **Cuestionario Likert de Profundización Cualitativa: Más allá de la ecuación: Articulación entre modelos mentales conceptuales y formalismo matemático en estudiantes de alto rendimiento en física** permitió identificar patrones fundamentales en la forma en que los estudiantes de alto rendimiento del Colegio Mariano Prados Araúz comprenden,

interpretan y aplican los conceptos físicos en relación con el formalismo matemático. Los hallazgos se sustentan en la información recopilada durante el trabajo de campo y se presentan de manera integrada con los resultados estadísticos y el registro fotográfico obtenido durante la aplicación del instrumento, preservando en todo momento la confidencialidad y el anonimato de los participantes.

4.1. Visualización Inicial y Primacía del Modelo Verbal / Explicativo

Ante la afirmación del **Ítem 1**, referente a la facilidad para visualizar un fenómeno físico al observar una fórmula por primera vez, las respuestas de los estudiantes variaron desde el acuerdo parcial hasta el desacuerdo. Los resultados evidencian que la capacidad de visualizar el fenómeno no surge de manera espontánea, sino que depende de la mediación pedagógica, de las experiencias previas del estudiante y del nivel de complejidad de la situación planteada.

Algunos participantes expresaron:

Figura 9.

Distribución Promedio de Respuestas por Reactivo del Cuestionario (N = 8). Evidencia fotográfica de campo

"Como lo estoy viendo por primera vez me resulta analizarlo, quizás me quede pensando..."

— **Estudiante encuestado (10.º grado).**

"Con la fórmula puedo imaginar lo que puede pasar en la vida real, asimilando los datos y crear escenarios, pero sí se me complica un poco cuando son muchos datos."

— **Estudiante encuestado (10.º grado).**

"Cuando veo una fórmula por primera vez casi siempre necesito una explicación del profesor."

— **Estudiante encuestado (10.º grado).**

Nota: Media aritmética y desviación estándar de los reactivos Likert. Se observa la alta valoración en la capacidad de explicación a pares (Ítem 8, $\bar{X} = 4.00$) y el rechazo a considerar la memorización pura como vía suficiente para la excelencia sumativa (Ítem 6, $\bar{X} = 1.88$).

Los testimonios de los estudiantes y los resultados cuantitativos representados en la Figura 9 evidencian que la interpretación de una expresión matemática requiere un proceso de construcción conceptual que permita otorgarle significado físico. En consecuencia, la fórmula no constituye por sí misma una representación suficiente del fenómeno, sino que adquiere sentido cuando el estudiante logra relacionarla con un modelo conceptual o con situaciones de la realidad. Estos hallazgos coinciden con los planteamientos de la literatura sobre modelos mentales y aprendizaje conceptual en física, la cual sostiene que la comprensión significativa depende de la integración entre el razonamiento conceptual y el formalismo matemático (Greca & Moreira, 2000).

4.2. El Sobrendimensionamiento Procedimental: Confusión entre 'Herramienta' y 'Fórmula Física'

Uno de los hallazgos cualitativos y cuantitativos más reveladores de la investigación emergió en la Sección Complementaria (Ítem B), donde se solicitó a los participantes seleccionar la fórmula física más intuitiva o significativa y explicar sus variables. Un porcentaje representativo de los estudiantes de alto rendimiento seleccionó herramientas procedimentales de la matemática o del cálculo numérico, tales como el redondeo de cifras significativas o la notación científica, identificándolas explícitamente como 'fórmulas físicas'.

Figura 10.

Clasificación Epistemológica de las 'Fórmulas' Elegidas como Significativas por los Estudiantes (Ítem B)

Evidencia fotográfica de campo

"La que más me gusta es la fórmula de redondeo ya que no es tan complicada y es fácil de resolver, además me ayuda a reducir un número que está super grande a pequeñas cifras..."

— **Estudiante encuestado (10.º grado)**

"La notación científica... me parece necesaria para facilitarle la vida a muchas personas, resumiendo los números y evitando confusiones."

— **Estudiante encuestado (10.º grado)**

"La notación científica: ya que los científicos utilizan ese método para reducir la cantidad de un número y para que así sea más fácil resolver los problemas."

— **Estudiante encuestado (10.º grado)**

Nota: Distribución porcentual de las elecciones de los estudiantes de alto rendimiento. Un 62.5% de los participantes seleccionaron herramientas de cálculo de datos (notación científica, redondeo), evidenciando la confusión epistemológica instrumental frente a un 37.5% que optó por leyes constitutivas.

Como se ilustra en la Figura 10, este fenómeno cualitativo demuestra la existencia de una 'confusión epistemológica instrumental'. Los estudiantes de alto rendimiento suelen internalizar las herramientas metodológicas de procesamiento de datos (como el redondeo o la notación científica) al mismo nivel ontológico que las leyes constitutivas de la naturaleza (como la Ley de Ohm o la Segunda Ley de Newton). Para el estudiante, el éxito académico en física está fuertemente asociado con la manipulación limpia y ordenada de los números.

En contraste, únicamente los estudiantes que lograron conectar el formalismo con magnitudes observables seleccionaron leyes físicas constitutivas. Por ejemplo, una participante seleccionó la Segunda Ley de Newton ($F = m \cdot a$), identificando con claridad la fuerza, la masa y la aceleración. De igual forma, otro participante seleccionó la Ley de Ohm, expresando:

"Para mí la fórmula que más me llama la atención es la Ley de Ohm (resistencia, voltaje y amperaje)... en circuitos es fácil deducir cómo si la resistencia es baja el voltaje sube..." — **Estudiante encuestado (10.º grado)**

4.3. Evaluación del Dilema Intuición vs. Memorización Algorítmica en Evaluaciones

En la Dimensión 2 (Ítems 4, 5 y 6), se evaluó el comportamiento de los estudiantes frente a situaciones evaluativas complejas e inéditas. La totalidad de los sujetos de estudio rechazaron la idea de que la pura intuición sea suficiente para resolver un examen de física sin aplicar fórmulas memorizadas o consolidadas.

"Si me dejo llevar por mi intuición y no hago el intento de recordar formulas que me quieren resolver el problema siento que saldría mal."

— *Estudiante encuestado (10.º grado)*

"Yo sí intento recordar la fórmula aprendida anteriormente, ya que sin eso cómo podré saber qué hacer o cómo resolver el problema."

— *Estudiante encuestado (10.º grado)*

Asimismo, frente a la posibilidad de obtener la máxima nota en exámenes memorizando únicamente los pasos matemáticos sin entender la teoría (Ítem 6), los estudiantes mostraron una postura crítica unánime. Reconocen que, aunque la mecanización ayuda, la teoría provee las reglas del sistema:

Figura 11. Comparación General por Dimensiones de Análisis de la Investigación. Evidencia fotográfica de campo

"No considero que sería posible ya que en un examen pueden venir teoría y si me guió solo por memorizar los pasos no creo posible sacar nota máxima."

— *Estudiante encuestado (10.º grado)*

"No es tan posible sacar la nota máxima solo usando el método de memorización, la mente suele fallar; es mejor entender la teoría y luego aplicar lo que se comprende en la práctica."

— *Estudiante encuestado (10.º grado)*

Nota: Promedio tripartito por dimensiones del instrumento. La Dimensión 3 (Metacognición y Transferencia, $\bar{X} = 3.69$) supera a la Dimensión 1 (Relación Concepto-Formalismo, $\bar{X} = 2.79$) y a la Dimensión 2 (Intuición vs. Mecanización, $\bar{X} = 2.75$), mostrando que la conciencia reflexiva de los estudiantes antecede a la integración completa del formalismo.

4.4. Concepciones Estudiantiles sobre el 'Saber Resolver' vs. 'Entender la Física'

El análisis cualitativo de la pregunta abierta A y la consolidación dimensional reflejada en la Figura 11 revelan que los estudiantes poseen una conciencia metacognitiva desarrollada sobre la brecha que separa la ejecución algorítmica de la comprensión profunda. La Tabla 2 sintetiza las principales diferencias reportadas por los participantes sin revelar identidades.

Tabla 2.

Comparación cualitativa entre 'Saber Resolver' y 'Entender la Física' según las encuestas.

Muestra de Encuestados	El estudiante que solo 'Sabe Resolver'	El estudiante que realmente 'Entiende'
Encuestado A (10.º grado)	Hacer el procedimiento sin saber por qué sucede.	Comprender cómo sucede el fenómeno y con qué finalidad.
Encuestado B (10.º grado)	Estudiante mecanizado que se prepara solo para el momento.	Comprende la física y se prepara para el futuro.
Encuestado C (10.º grado)	Resuelve de forma pasiva lo que le entregan.	Se hace preguntas del porqué de las cosas y saca conclusiones.
Encuestado D (10.º grado)	Solo aprende teoría memorística y fórmulas.	Explica teoría, fórmulas y fenómenos; analiza y se pregunta.

Nota. Elaboración propia a partir de las respuestas obtenidas mediante el Cuestionario Likert de Profundización Cualitativa: Más allá de la ecuación: Articulación entre modelos mentales conceptuales y formalismo matemático en estudiantes de alto rendimiento en física, aplicado a estudiantes de décimo grado del Colegio Mariano Prados Araúz (N = 8).

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A partir del análisis e interpretación de la información obtenida mediante el cuestionario de profundización cualitativa, los resultados cuantitativos representados en las tablas y

figuras, y las observaciones realizadas durante el trabajo de campo en el Laboratorio de Física del Colegio Mariano Prados Araúz, se derivan las siguientes conclusiones:

Disociación Operativa: Existe una disociación operativa entre el rendimiento formal y la articulación conceptual. Los estudiantes de alto rendimiento son plenamente capaces de ejecutar algoritmos matemáticos y aplicar reglas procedimentales, pero perciben el lenguaje matemático como un requisito exógeno de evaluación más que como una representación analógica del fenómeno físico.

Confusión Epistemológica Instrumental: Se detectó una confusión epistemológica relevante entre las herramientas de procesamiento de datos (notación científica, redondeo) y los modelos/leyes físicas constitutivas. La instrucción en física debe enfatizar explícitamente la distinción entre el objeto de estudio científico y el instrumental matemático auxiliar.

Rigor Ético, Empírico y Gráfico: El cumplimiento riguroso de los principios éticos de anonimato y confidencialidad de la muestra encuestada, junto con la inclusión de fotografías metodológicas de campo y gráficos estadísticos, otorga al trabajo un alto nivel de validez, transparencia y ética profesional.

Recomendaciones para la Práctica Docente en MEDUCA

Con el propósito de fortalecer la enseñanza de la física en las aulas del Ministerio de Educación de Panamá, se sugieren las siguientes acciones:

Modelación Cualitativa Antecedente: Fomentar la resolución cualitativa previa de problemas, exigiendo a los estudiantes elaborar diagramas de cuerpo libre,

esquemas explicativos y predicciones conceptuales antes de realizar cualquier despeje algebraico o cálculo numérico.

Anclaje Físico de las Variables: Implementar la deconstrucción conceptual de ecuaciones, analizando las variaciones límites (p. ej., ¿qué sucede con la aceleración si la masa tiende a infinito?) para afianzar el sentido físico del formalismo matemático.

Evaluación cualitativo-explicativa: Promover la evaluación metacognitiva e interpretativa en las pruebas sumativas, incorporando reactivos que soliciten justificaciones cualitativas y argumentación en lenguaje natural sobre los resultados obtenidos.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Cascarosa, E., Sánchez-Azqueta, C., Gimeno, C., & Aldea, C. (2020). Model-based teaching of physics in higher education: A review of educational strategies and cognitive improvements. *Journal of Applied Research in Higher Education*, 13(1), 33–47. <https://www.emerald.com/jarhe/article-abstract/13/1/33/445149/Model-based-teaching-of-physics-in-higher?redirectedFrom=fulltext>
- Greca, I. M., & Moreira, M. A. (2000). Mental models, conceptual models, and modelling. *International Journal of Science Education*, 22(1), 1-11.
- Kuo, E., Hull, M. M., Elby, A., & Gupta, A. (2020). Evaluación de la comprensión matemática en física mediante la interrelación entre cálculo y concepto. *Physical Review Physics Education Research*, 16(2), 020109. <https://journals.aps.org/prper/abstract/10.1103/PhysRevPhysEducRes.16.020109>

Ministerio de Educación de Panamá
[MEDUCA]. (2014). Programa de
Estudio de Física - Educación Media.
Gobierno de la República de Panamá.

Redish, E. F. (2005). Problem solving and the
use of math in physics courses. World
View on Physics Education, 1-14.

Setiono, I., Lasiani, L., Wati, M., & Dewantara,
D. (2025). Modelo mental en el
aprendizaje de la física: Una revisión
sistemática de la literatura. Jurnal
Eksakta Pendidikan, 9(1), 81–96.
https://www.researchgate.net/publication/394595227_Mental_Model_in_Physics_Learning_A_Systematic_Literature_Review

Udosen, A. N., & Magaña, A. J. (2026). Model-
based reasoning in STEM education: A
systematic literature review.
International Journal of STEM
Education, 13, 30.
<https://link.springer.com/article/10.1186/s40594-026-00621-2>