

Artículo de investigación

Modelo teórico de los sistemas de dos niveles en mecánica cuántica

Theoretical Model of Two-Level Systems in Quantum Mechanics

Cliffor Jerry Herrera Castrillo*, **José Alfredo Garmendía Tercero¹**, **Cristell Dayana González González²**,
Aner Yuniel Martínez Garmendía³

Cómo referenciar:

Herrera, C., Garmendía, J., González, C. y Martínez, A. (2026). Modelo teórico de los sistemas de dos niveles en mecánica cuántica. *INNOVACADEMIA*, 2(2), 38-55.
<https://doi.org/10.29105/innoacad.v2i2.79>

* Autor de correspondencia. Doctor en Matemática Aplicada Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua (UNAN-Managua), Centro Universitario Regional Estelí (CUR-Estelí).

ORCID: [0000-0002-7663-2499](https://orcid.org/0000-0002-7663-2499)

Contacto: cliffor.herrera@unan.edu.ni

¹ Licenciado en Ciencias de la Educación con Mención en Física-Matemática. Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua (UNAN-Managua), Centro Universitario Regional Estelí (CUR-Estelí).

ORCID: [0009-0004-5329-8450](https://orcid.org/0009-0004-5329-8450)

Contacto: alfredo84308076@gmail.com

² Licenciada en Ciencias de la Educación con Mención en Física-Matemática. Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua (UNAN-Managua), Centro Universitario Regional Estelí (CUR-Estelí).

ORCID: [0009-0003-3277-2988](https://orcid.org/0009-0003-3277-2988)

Contacto: gonzalezcristel442@gmail.com

³ Licenciado en Ciencias de la Educación con Mención en Física-Matemática. Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua (UNAN-Managua), Centro Universitario Regional Estelí (CUR-Estelí).

ORCID: [0009-0007-9809-7777](https://orcid.org/0009-0007-9809-7777)

Contacto: dorotymartinez3@gmail.com

Esta revista y sus artículos se publican bajo la licencia *Creative Commons Atribución-NoComercial-Compartir Igual 4.0 Internacional* (CC BY-NC-SA 4.0), por lo cual el usuario es libre de usar, compartir y adaptar el contenido de INNOVACADEMIA siempre que se otorgue el crédito, no se use para fines comerciales, y se comparta cualquier material derivado bajo la misma licencia.



RESUMEN

Este artículo propone un modelo teórico para el aprendizaje de sistemas de dos niveles en mecánica cuántica, orientado a integrar la formulación matemática con la interpretación física para favorecer un aprendizaje significativo en estudiantes universitarios. La investigación surge ante las dificultades asociadas a la abstracción conceptual y al rigor matemático que caracterizan este contenido, por lo que se diseñó una propuesta didáctica basada en teoría, visualización y progresión conceptual. El estudio se desarrolló durante el segundo semestre de 2025 con 12 estudiantes de quinto año de la carrera de Física-Matemática de una institución de educación superior de Nicaragua, bajo un enfoque cuantitativo, diseño no experimental, descriptivo y transversal. Para la recolección de información se aplicaron una prueba estandarizada, un cuestionario, una encuesta tipo Likert y una guía de validación por juicio de experto, analizados mediante estadística descriptiva, frecuencias y porcentajes. Los resultados evidenciaron un rendimiento intermedio, con una media de 58.33 en la prueba diagnóstica, así como el reconocimiento de la utilidad pedagógica del modelo por parte del 41.6 % de los participantes, destacando su potencial para fortalecer la comprensión progresiva de contenidos abstractos mediante la articulación entre operadores matemáticos, aprendizaje significativo e interpretación física. Se concluye que el modelo constituye una propuesta didáctica pertinente para mejorar la enseñanza de sistemas de dos niveles y orientar futuras estrategias metodológicas en física cuántica.

Palabras clave:

*mecánica cuántica,
sistemas de dos niveles,
física-matemática.*

ABSTRACT

This article proposes a theoretical model for learning two-level systems in quantum mechanics, aimed at integrating mathematical formulation with physical interpretation to promote meaningful learning among college students. The research arose in response to the difficulties associated with the conceptual abstraction and mathematical rigor that characterize this subject matter; therefore, a teaching approach based on theory, visualization, and conceptual progression was designed. The study was conducted during the second semester of 2025 with 12 fifth-year students in the Physics-Mathematics program at a higher education institution in Nicaragua, using a quantitative, non-experimental, descriptive, and cross-sectional approach. Data were collected through a standardized test, a questionnaire, a Likert-type survey, and an expert judgment validation guide, which were administered and analyzed using descriptive statistics, frequencies, and percentages. The results showed intermediate performance, with a mean score of 58.33 on the diagnostic test, as well as perceived pedagogical usefulness of the model by 41.6% of the participants, highlighting its potential to strengthen the progressive understanding of abstract content through the integration of mathematical operators, meaningful learning, and physical interpretation. It is concluded that the model constitutes a relevant pedagogical approach for improving the teaching of two-level systems and guiding future methodological strategies in quantum physics.

Keywords:

*quantum mechanics,
two-level system,
physics-mathematics.*

INTRODUCCIÓN

De acuerdo con Zuñiga-Arrieta y Camacho-Calvo (2022), los modelos constituyen representaciones simplificadas de la realidad que permiten organizar, interpretar y destacar los elementos esenciales de fenómenos, procesos o estructuras educativas. En el ámbito formativo, su utilidad radica en ofrecer marcos conceptuales que orientan la comprensión, la toma de decisiones pedagógicas y la articulación entre teoría y práctica. En áreas científicas de alta complejidad, como la mecánica cuántica, los modelos adquieren una relevancia aún mayor, ya que facilitan la aproximación progresiva a contenidos abstractos mediante estructuras organizadas que reducen barreras cognitivas sin perder rigor disciplinar.

En este contexto, la enseñanza de los sistemas de dos niveles representa uno de los desafíos conceptuales más significativos dentro de la formación universitaria en física, debido a que exige integrar formalismos matemáticos rigurosos como operadores, espacios vectoriales, ecuación de Schrödinger y representaciones algebraicas con interpretaciones físicas que permitan comprender fenómenos como transiciones cuánticas, superposición y qubits (Torrez et al., 2024). Aunque estos contenidos son fundamentales para áreas emergentes como la computación cuántica, la modelación física y diversas aplicaciones tecnológicas, su aprendizaje suele verse limitado por dificultades asociadas a la abstracción matemática, la interpretación conceptual y la escasa mediación didáctica entre el lenguaje formal y la comprensión estudiantil.

Herrera y Herrera (2023) señalan que fortalecer la enseñanza de contenidos físicos complejos requiere estrategias que promuevan interés, motivación y aprendizaje significativo, particularmente en carreras como Física-Matemática, donde el dominio conceptual debe trascender la memorización de ecuaciones para convertirse en comprensión aplicable. Sin embargo, en estudiantes universitarios persisten dificultades relacionadas con baja comprensión conceptual, interpretación deficiente de fórmulas y desmotivación ante contenidos muy abstractos, en especial cuando los operadores matemáticos son presentados de forma

aislada de su interpretación física o representación visual.

Diversos estudios recientes evidencian avances en la enseñanza de la física cuántica mediante simuladores, estrategias de aula invertida, recursos visuales y enfoques por competencias; no obstante, persiste un vacío específico en propuestas orientadas al aprendizaje estructurado de sistemas de dos niveles en mecánica cuántica desde una integración explícita entre formulación matemática, interpretación física y progresión pedagógica adaptada al nivel universitario (López et al., 2024; Wörner, 2022; Fanaro et al., 2022). Esta brecha resulta concretamente relevante, ya que los sistemas de dos niveles constituyen una base conceptual para comprender fenómenos más complejos y para el desarrollo de competencias vinculadas a tecnologías contemporáneas.

Por ello, surge la necesidad de diseñar un modelo teórico que permita convertir la abstracción matemática de estos sistemas en experiencias de aprendizaje más comprensibles, progresivas y didácticamente accesibles. La incorporación de teoría, visualización, interpretación física y análisis estructurado puede favorecer no solo el rendimiento académico, sino también una comprensión más robusta del fenómeno cuántico desde una perspectiva científica y educativa.

En consecuencia, la presente investigación propone un modelo teórico para el aprendizaje de sistemas de dos niveles en mecánica cuántica que integra formulación matemática, aprendizaje significativo e interpretación física, con el propósito de fortalecer la comprensión conceptual de estudiantes universitarios de física-matemática. Su relevancia teórica radica en aportar una estructura conceptual aplicable a contenidos abstractos; metodológicamente, ofrece una herramienta replicable para el diseño de estrategias didácticas; y prácticamente, contribuye a mejorar la enseñanza de contenidos cuánticos fundamentales en contextos de educación superior.

El objetivo principal del estudio es proponer un modelo teórico para el aprendizaje de sistemas de dos niveles en mecánica cuántica que articule la formulación matemática con la interpretación física para favorecer aprendizajes significativos en estudiantes universitarios.

En correspondencia, se plantea como hipótesis que el diseño e implementación de dicho modelo facilitarán una comprensión más progresiva, contextualizada y significativa de estos contenidos en estudiantes de física-matemática.

REVISIÓN DE LA LITERATURA

La literatura especializada evidencia que la enseñanza de la mecánica cuántica constituye uno de los mayores desafíos dentro de la educación científica debido a la necesidad de integrar rigor matemático, abstracción conceptual e interpretación física en procesos pedagógicos comprensibles (Pauletich, 2025; Hernández et al., 2025). Diversas investigaciones coinciden en que las dificultades estudiantiles no radican solo en la complejidad formal de los contenidos, sino en la limitada articulación entre modelos matemáticos, visualización conceptual y estrategias didácticas progresivas (Torres, 2018).

En este sentido, estudios internacionales destacan que los sistemas de dos niveles en mecánica cuántica representan una vía particularmente efectiva para introducir principios fundamentales de esta rama, debido a que permiten simplificar conceptos complejos mediante estructuras matemáticas más accesibles, como qubits, operadores de Pauli y representaciones geométricas, lo que favorece una transición gradual desde lo algebraico hacia lo físico. Kohnle et al. (2015) y Nikolaus et al. (2024) demostraron que el uso de simulaciones interactivas centradas en sistemas de dos niveles es relevante en la comprensión conceptual tanto en niveles introductorios como avanzados, aunque advierten que su efectividad depende de una mediación pedagógica estructurada y no exclusivamente del recurso tecnológico.

Desde una perspectiva más reciente, Albert et al. (2025) sostienen que los enfoques contemporáneos de enseñanza basados en sistemas de dos estados (Spin First) ofrecen ventajas frente a modelos históricos tradicionales, ya que permiten introducir fundamentos cuánticos desde contextos actuales como la computación cuántica, reduciendo la sobrecarga matemática inicial y aumentando la motivación estudiantil. Sin embargo, estos estudios también señalan

limitaciones importantes: muchos diseños priorizan comprensión cualitativa temprana, pero no siempre profundizan suficientemente en la transición hacia formalismos algebraicos rigurosos, aspecto esencial en la formación universitaria de física-matemática (Mendibil, 2024; Torres, 2025).

En el ámbito disciplinar, Eisberg y Resnick (1983) profundizan en la estructura algebraica de los sistemas de dos niveles mediante la construcción del modelo a partir de operadores bosónicos, aportando una base teórica robusta para comprender la complejidad formal de estos sistemas. No obstante, aunque este enfoque fortalece el valor científico del contenido, su orientación es predominantemente formal y presenta escasa traducción didáctica para estudiantes en etapas iniciales o intermedias, lo cual evidencia una brecha entre desarrollo teórico avanzado y aplicabilidad pedagógica.

En Nicaragua, las investigaciones sobre la enseñanza de física cuántica han mostrado avances importantes, particularmente en el uso de simuladores, instrumentos por competencias y estrategias mixtas. Hernández y Herrera (2023), Tórrez y Saballos (2023) y Martínez et al. (2023) evidencian que la comprensión de contenidos como incertidumbre, operadores matemáticos y propiedades ondulatorias mejora cuando se incorporan recursos didácticos innovadores. A nivel de educación superior en Estelí, Altamirano y Rivera (2024) validaron manuales experimentales mediante simuladores, mientras Torrez et al. (2024) reportaron mejoras en la identificación de operadores de Schrödinger mediante ejercicios graduados.

Asimismo, Canales et al. (2024) y Laguna et al. (2024) en el contexto local demostraron que el software interactivo, la evaluación competencial y las estrategias visuales fortalecen el dominio conceptual. Sin embargo, aunque estos estudios presentan resultados favorables, predominan diseños centrados en contenidos específicos o herramientas aisladas, sin consolidar aún un modelo integrador que articule formulación matemática, progresión conceptual e interpretación física específicamente para sistemas de dos niveles.

Esta situación permite identificar una limitación crítica en la literatura regional: existe abundante interés en innovaciones didácticas, pero persiste una escasez

de propuestas teóricas estructuradas que organicen el aprendizaje de sistemas de dos niveles en mecánica cuántica como eje articulador entre abstracción matemática y comprensión conceptual. En otras palabras, muchas investigaciones validan recursos, pero pocas construyen marcos pedagógicos replicables.

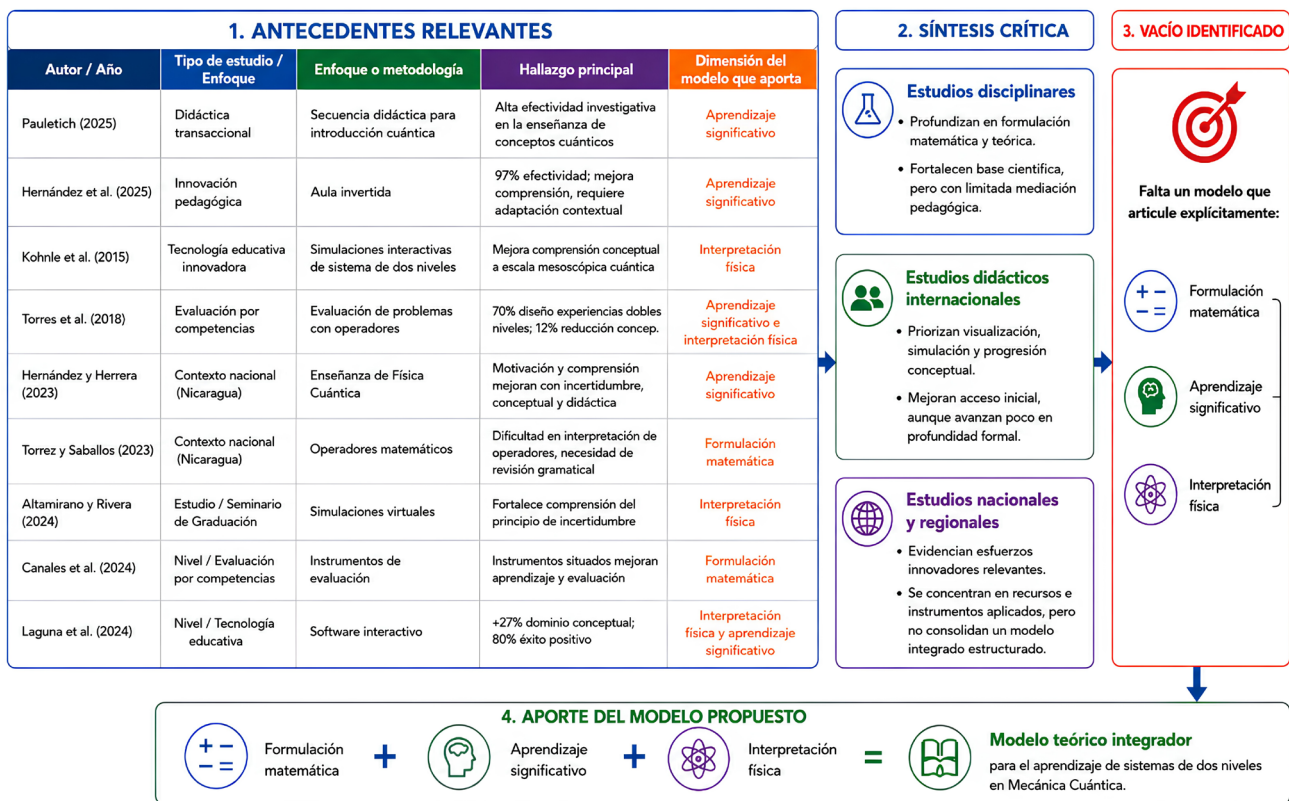
Por ello, la presente investigación se posiciona en ese vacío al proponer un modelo teórico orientado no solo a facilitar la comprensión de conceptos abstractos, sino a estructurar progresivamente el aprendizaje universitario mediante tres dimensiones complementarias: formulación matemática, aprendizaje significativo e interpretación física. Esta orientación se alinea con tendencias internacionales que reconocen que la educación cuántica contemporánea debe trascender la enseñanza fragmentada para construir

trayectorias de aprendizaje coherentes, científicamente rigurosas y pedagógicamente accesibles.

Con el propósito de organizar de manera lógica, comparativa y crítica el estado actual del conocimiento sobre la enseñanza de la mecánica cuántica y los sistemas de dos niveles, se presenta una síntesis estructurada de antecedentes internacionales, nacionales y regionales. Este esquema permite visualizar la evolución de enfoques disciplinares, didácticos y tecnológicos, identificando sus principales aportes, limitaciones metodológicas y contribuciones específicas a las dimensiones que sustentan el modelo teórico propuesto. Asimismo, facilita reconocer cómo la literatura ha transitado desde perspectivas predominantemente algebraicas hacia propuestas más integradoras orientadas al aprendizaje significativo.

Figura 1

Estado de la cuestión sobre enseñanza de mecánica cuántica y sistemas de dos niveles



Nota: Elaboración propia a partir de la revisión de antecedentes (Paulelich, 2025; Hernández et al., 2025; Kohnle et al., 2015; Torres, 2018; Hernández y Herrera, 2023; Tórréz y Saballos, 2023; Altamirano y Rivera, 2024; Canales et al., 2024; Laguna et al., 2024).

MARCO TEÓRICO Y REFERENTES CONCEPTUALES

El modelo teórico propuesto se sustenta en una articulación entre fundamentos educativos, didácticos y disciplinares que permiten comprender cómo puede facilitarse el aprendizaje de sistemas de dos niveles en mecánica cuántica desde una perspectiva progresiva e integradora (Carvajal, 2002). Desde el plano educativo, se asume la teoría del aprendizaje significativo de Ausubel (1968), la cual plantea que el aprendizaje ocurre cuando los nuevos conocimientos se relacionan de manera sustantiva con estructuras cognitivas previas. En este contexto, la comprensión de operadores, estados cuánticos y la superposición requiere partir de representaciones matemáticas básicas que sirvan como anclaje para la apropiación de conceptos más abstractos.

Desde la didáctica de la física, el modelo incorpora principios constructivistas y de progresión conceptual, reconociendo que el aprendizaje de contenidos científicos complejos demanda mediaciones como visualización, simulación, andamiaje y resolución gradual de problemas (Córdoba-Fuentes y Herrera-Castrillo, 2024). Esto implica que la formulación matemática no debe presentarse como un fin aislado, sino como una herramienta para construir interpretación física y comprensión conceptual (Pulido, 2025).

En el ámbito disciplinar, los sistemas de dos niveles en mecánica cuántica constituyen una base fundamental para el estudio de espines, qubits, transiciones cuánticas y dinámica de Rabi, formalizados mediante operadores de Pauli, espacios de Hilbert y representaciones como la esfera de Bloch (Bloch, 1946; Rabi, 1937). Estos referentes permiten delimitar científicamente el contenido del modelo y sostener su rigurosidad conceptual.

A partir de esta integración, el estudio define tres constructos operativos: formulación matemática, entendida como el dominio progresivo de estructuras algebraicas; aprendizaje significativo, como la integración comprensiva de nuevos contenidos con conocimientos previos; e interpretación física, como la capacidad de traducir formalismos matemáticos en explicaciones científicas aplicables. La relación entre estos constructos constituye el fundamento conceptual del modelo teórico propuesto.

MÉTODO

DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

La investigación se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, orientado a la recopilación, organización e interpretación de datos numéricos relacionados con la comprensión de sistemas de dos niveles en mecánica cuántica. Este enfoque permitió valorar de manera objetiva variables asociadas al aprendizaje, percepción y pertinencia académica del modelo teórico propuesto (Herrera, 2024).

El estudio fue de tipo descriptivo, debido a que se centró en caracterizar fenómenos educativos vinculados al aprendizaje de contenidos abstractos, sin manipular deliberadamente las variables de estudio. Según su naturaleza, se ubica en el campo educativo, al abordar procesos de enseñanza-aprendizaje en estudiantes universitarios de Física-Matemática (Herrera y Herrera, 2023). Asimismo, presentó un diseño no experimental, ya que las variables fueron observadas en su contexto natural y de corte transversal (Arias et al., 2022), puesto que la recolección de información se realizó en un único momento durante el segundo semestre académico de 2025. El paradigma asumido fue positivista, dado que se buscó obtener evidencia verificable, medible y analizable estadísticamente para sustentar la propuesta del modelo (Herrera, 2024).

POBLACIÓN Y MUESTRA

La población estuvo conformada por 12 estudiantes activos de quinto año de la carrera de Física-Matemática de una institución de educación superior de Estelí, quienes cursaban contenidos de física cuántica relacionados con sistemas de dos niveles durante el período de estudio, así como un docente especialista en física cuántica encargado de la validación experta. Debido a que la población estudiantil fue reducida e inferior a 50 participantes, se empleó un muestreo censal, integrando a la totalidad de los estudiantes disponibles. Este criterio permitió una valoración integral del grupo sin recurrir a procedimientos probabilísticos.

Los criterios de inclusión consideraron matrícula activa, asistencia regular al componente académico y participación voluntaria mediante consentimiento

informado. Se excluyeron estudiantes ausentes durante la aplicación formal de instrumentos o con registros incompletos. El proceso contó con autorización institucional y resguardo de confidencialidad para fines estrictamente académicos.

TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Para obtener información integral se emplearon técnicas cuantitativas estructuradas mediante cuatro instrumentos:

- **Prueba estandarizada:** integrada por ejercicios orientados a evaluar conocimientos conceptuales, dominio de operadores matemáticos y resolución de problemas básicos sobre sistemas de dos niveles.

La prueba estandarizada estuvo conformada por seis problemas estructurados progresivamente, diseñados para evaluar: (1) cálculo de diferencia energética entre niveles, (2) variación de probabilidad de transición ante cambios en la frecuencia de Rabi, (3) determinación del tiempo de máxima probabilidad, (4) análisis del tiempo de transición de espín, (5) interpretación probabilística del estado $|1\rangle$ y (6) relación conceptual entre sistemas de dos niveles y qubits. Esta estructura permitió valorar desde habilidades algebraicas básicas hasta niveles de interpretación física aplicada.

- **Cuestionario estructurado:** diseñado para valorar comprensión teórica, interpretación de formulación matemática y articulación entre teoría e interpretación física.
- **Encuesta con escala tipo Likert (1 a 5):** dirigida a identificar la percepción estudiantil sobre claridad, utilidad, pertinencia y aplicabilidad del modelo teórico.
- **Guía de validación por juicio de experto:** aplicada a un especialista en física cuántica para evaluar claridad conceptual, coherencia metodológica, rigor disciplinar y aplicabilidad educativa del modelo.

La prueba, el cuestionario y la encuesta fueron diseñados con estructura definida, criterios de puntuación y codificación específicos. Las respuestas

correctas en instrumentos objetivos fueron codificadas con valor de 1 y las incorrectas con 0; en el caso de respuestas omitidas, estas fueron excluidas del análisis porcentual. Para la interpretación de resultados se establecieron niveles de desempeño: bajo, medio y alto, según rangos porcentuales de logro.

PROCEDIMIENTO DE APLICACIÓN

La investigación se desarrolló en etapas secuenciales. En primer lugar, se diseñaron y revisaron los instrumentos conforme a los objetivos y variables del estudio. Posteriormente, se realizó validación de contenido mediante juicio de experto, ajustando redacción, claridad y pertinencia metodológica.

Previo a la aplicación de instrumentos, se desarrolló una sesión académica estructurada bajo el modelo teórico propuesto, organizada en tres momentos: introducción conceptual de sistemas de dos niveles mediante formulación matemática básica, mediación didáctica con ejemplos progresivos y representación visual (operadores, matrices y esfera de Bloch), y fase de aplicación práctica orientada a la resolución de problemas. Este Proceso de Enseñanza-Aprendizaje (PEA) permitió que la evaluación se realizara en correspondencia con los contenidos abordados y con las dimensiones del modelo: formulación matemática, aprendizaje significativo e interpretación física.

La aplicación de instrumentos se realizó de forma presencial en horario académico regular, bajo condiciones controladas e instrucciones estandarizadas para todos los participantes. La prueba objetiva tuvo una duración aproximada de 45 minutos, el cuestionario estructurado 20 minutos y la encuesta tipo Likert 15 minutos. La validación experta se efectuó mediante una rúbrica estructurada con escala valorativa de 1 a 5, considerando criterios de suficiencia teórica, coherencia estructural, claridad y aplicabilidad.

VALIDEZ Y CONFIABILIDAD

La validez de contenido se fortaleció mediante revisión teórica, correspondencia entre variables, indicadores e instrumentos, así como juicio especializado en física cuántica. Aunque la validación experta se realizó con un especialista, este proceso permitió fortalecer la coherencia conceptual del modelo y ajustar técnicamente los instrumentos. La confiabilidad se verificó mediante el coeficiente Alfa de Cronbach aplicado a la prueba (0.88), cuestionario (0.86) y encuesta (0.86), considerada como consistencia 'buena' aceptable para la aplicación en la muestra seleccionada.

PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS

Los datos obtenidos fueron codificados, organizados y procesados mediante Microsoft Excel y herramientas estadísticas de análisis descriptivo. Se emplearon frecuencias absolutas, porcentajes, medidas de tendencia central y tablas comparativas para analizar niveles de comprensión, percepción estudiantil y valoración del modelo.

El análisis se organizó según las tres dimensiones estructurales del modelo teórico: formulación matemática, aprendizaje significativo e integración física. Esta estructura permitió interpretar los hallazgos de manera coherente con los objetivos del estudio, sustentando empíricamente la pertinencia académica del modelo como propuesta para fortalecer la comprensión progresiva de sistemas de dos niveles en estudiantes universitarios de Física-Matemática.

RESULTADOS

En este apartado se presentan los hallazgos derivados de la aplicación de la prueba estandarizada, el cuestionario estructurado, la encuesta de percepción y la validación especializada del modelo teórico, instrumentos diseñados para responder de manera articulada a los objetivos específicos del estudio: caracterizar el nivel inicial de comprensión matemática, analizar la apropiación conceptual de los sistemas de dos niveles e integrar estos resultados en el diseño de un modelo teórico con pertinencia didáctica. Los resultados se organizan explícitamente según las dimensiones

conceptuales del estudio: formulación matemática, aprendizaje significativo e interpretación física, evitando extrapolar afirmaciones causales sobre la mejora del aprendizaje en un diseño transversal.

CARACTERIZACIÓN DE LA FORMULACIÓN MATEMÁTICA INICIAL EN SISTEMAS DE DOS NIVELES

Para valorar la dimensión de formulación matemática, se aplicó una prueba estandarizada de seis problemas a 12 estudiantes de quinto año de Física-Matemática, orientada a contenidos fundamentales: diferencia energética entre niveles, dinámica de probabilidad de transición, tiempo de máxima probabilidad, comportamiento de espines, permanencia en estados cuánticos y relación entre sistemas de dos niveles y qubits. Esta prueba permitió diagnosticar el nivel de dominio matemático-operativo desde representaciones básicas, sin asumir todavía comprensión profunda del fenómeno físico.

Los resultados generales evidenciaron una media de 58.33/100, con mediana de 55 y moda de 40, ubicando el rendimiento grupal en un rango medio-bajo según la escala operativa definida para el estudio (0-59: bajo; 60-79: medio; 80-100: alto). La desviación estándar de 30.01 mostró una dispersión considerable, reflejando heterogeneidad cognitiva significativa dentro del grupo y confirmando que la cohorte no presenta un dominio homogéneo de las bases matemáticas requeridas. A continuación, se presenta la Tabla 1.

Tabla 1
Medidas de tendencia central prueba estandarizada

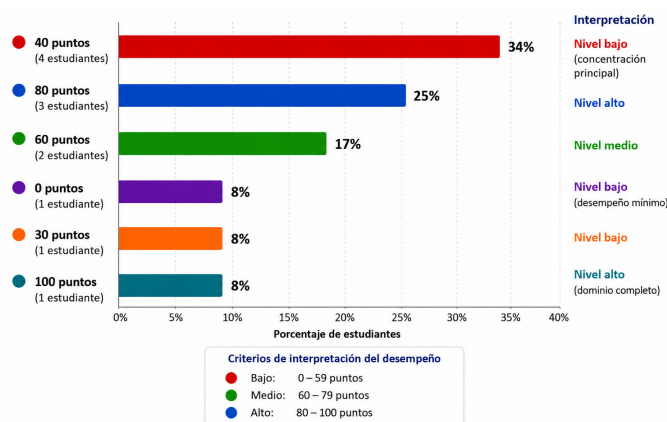
Indicador estadístico	Valor obtenido	Interpretación metodológica
Tamaño muestral válido (n)	12	Corresponde al total de estudiantes participantes que completaron la prueba.
Puntaje máximo posible	100 puntos	Escala de evaluación estandarizada utilizada para los seis problemas aplicados.
Puntaje mínimo observado	0	Evidencia ausencia total de respuesta correcta en al menos un caso.
Puntaje máximo observado	100	Refleja dominio completo de los contenidos evaluados en un estudiante.
Rango	100	Indica amplitud total entre el valor mínimo y máximo, mostrando alta variabilidad grupal.
Suma total de puntajes	700	Total, acumulado de calificaciones obtenidas por la muestra.
Media aritmética	58.33	Ubica el rendimiento global en nivel medio-bajo, cercano al umbral mínimo de desempeño aceptable.
Mediana	55.00	El 50% de los estudiantes obtuvo calificaciones iguales o inferiores a 55 puntos.
Moda	40	Puntaje más frecuente, asociado a concentración en niveles bajos de desempeño.
Varianza	906.06	Expresa dispersión elevada respecto a la media, en unidades cuadráticas.
Desviación estándar	30.01	Muestra heterogeneidad significativa en el dominio matemático de los estudiantes.
Coefficiente de variación	51.45%	Indica alta dispersión relativa, confirmando diferencias importantes entre participantes.

Nota: Aunque se identificó un grupo con desempeño alto, la concentración en puntajes medios-bajos y la elevada dispersión evidencian heterogeneidad en la formulación matemática inicial sobre contenidos cuánticos, justificando la necesidad de un modelo teórico que articule comprensión matemática, aprendizaje significativo e interpretación física.

Los resultados presentados en la Tabla 1 evidencian una notable variabilidad en el desempeño matemático de los estudiantes respecto a los sistemas de dos niveles en mecánica cuántica. Aunque algunos participantes alcanzaron niveles altos de resolución, la media general y la elevada dispersión reflejan dificultades heterogéneas en la comprensión y aplicación de operadores matemáticos, relaciones algebraicas e interpretación de fenómenos cuánticos básicos.

Estos hallazgos sugieren que el dominio conceptual no se encuentra uniformemente consolidado, lo cual justifica la necesidad de una propuesta didáctica estructurada que facilite la transición progresiva entre formulación matemática e interpretación física, tal como se sintetiza en la Figura 2.

Figura 2
Distribución porcentual de respuestas de la prueba estandarizada



Nota: Elaboración propia a partir de los resultados del estudio. La distribución muestra heterogeneidad significativa en los niveles de rendimiento. La moda en 40 puntos y la presencia de extremos (0 y 100) evidencian dispersión en la comprensión matemática inicial de los sistemas de dos niveles.

La distribución de frecuencias indicada en la Figura 2 mostró concentración en puntuaciones de bajo y mediano rendimiento: cuatro estudiantes (34%) se ubicaron en 40/100, mientras únicamente un estudiante (8%) alcanzó 100/100. De forma complementaria, tres estudiantes (25%) obtuvieron 80/100, lo cual evidencia la coexistencia de subgrupos con distintos niveles de apropiación matemática. Este comportamiento confirma que las principales diferencias no se explican únicamente por cálculo mecánico, sino por variaciones en la capacidad de traducir estructuras algebraicas hacia representaciones físicamente interpretables.

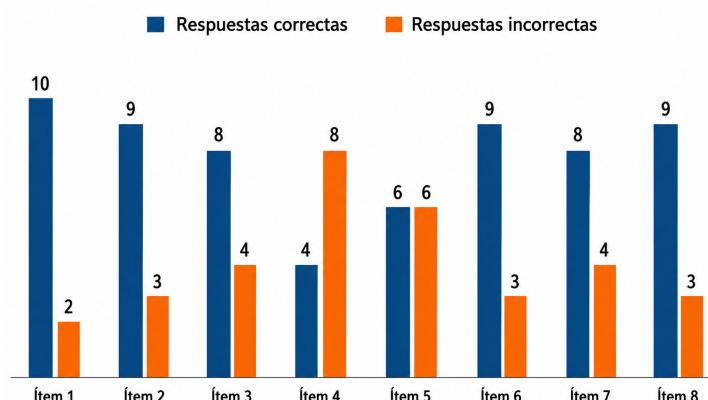
Desde la perspectiva conceptual, estos hallazgos permiten sostener que la primera barrera para el aprendizaje de sistemas de dos niveles se encuentra en la transición entre formalismo matemático básico y comprensión aplicada, aspecto consistente con la necesidad de modelos pedagógicos que estructuren progresivamente dicha integración, tal como sugieren estudios didácticos sobre enseñanza de contenidos abstractos en física superior.

ANÁLISIS DEL APRENDIZAJE SIGNIFICATIVO MEDIANTE CUESTIONARIO ESTRUCTURADO

Para analizar la dimensión de aprendizaje significativo, se aplicó un cuestionario estructurado de ocho ítems de selección múltiple, enfocado en conceptos esenciales de sistemas cuánticos de dos niveles, relaciones matemáticas fundamentales y comprensión funcional del modelo cuántico básico. A diferencia de la prueba inicial, este instrumento buscó identificar cómo los estudiantes organizan cognitivamente conceptos ya presentados y su capacidad para reconocer relaciones significativas entre teoría y representación.

Los resultados mostraron un promedio global de 66% de respuestas correctas frente a 34% incorrectas, indicando que, aunque persisten dificultades, existe una apropiación conceptual más estable que la observada en la dimensión puramente matemática. Sin embargo, el análisis por ítems evidenció variabilidad interna: preguntas vinculadas a relaciones directas o definiciones básicas que presentaron mayores niveles de acierto, mientras que aquellas asociadas a interpretación abstracta o transferencia conceptual registraron más errores. Esta distribución comparativa de frecuencias se presenta en la Figura 3.

Figura 3
Resultados comparativos de cuestionario estructurado



Nota: Elaboración propia a partir de los resultados del estudio.

Con el propósito de profundizar en la interpretación de los resultados presentados en la Figura 3, la Tabla 2 describe de manera detallada los contenidos evaluados en cada ítem, así como la distribución de

respuestas correctas e incorrectas y sus respectivos porcentajes de desempeño.

Tabla 2

Desempeño estudiantil por ítem en el cuestionario estructurado sobre sistemas de dos niveles

Ítem	Contenido evaluado	Respuestas correctas	Respuestas incorrectas	% Correctas	% Incorrectas
Ítem 1	Concepto básico: estados y notación	10	2	83.3%	16.7%
Ítem 2	Diferencia de energía entre niveles	9	3	75.0%	25.0%
Ítem 3	Probabilidad de transición	8	4	66.7%	33.3%
Ítem 4	Tiempo para máxima probabilidad	4	8	33.3%	66.7%
Ítem 5	Dependencia temporal del espín	6	6	50.0%	50.0%
Ítem 6	Permanencia en el estado $ 1\rangle$	9	3	75.0%	25.0%
Ítem 7	Operadores de Pauli básicos	8	4	66.7%	33.3%
Ítem 8	Relación sistema de dos niveles – qubit	9	3	75.0%	25.0%
	Total	63	33	66.0%	34.0%

Nota: Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos en el cuestionario estructurado aplicado a estudiantes de quinto año de Física-Matemática. Los porcentajes fueron interpretados según los niveles de desempeño establecidos: alto ($\geq 70\%$), medio (50% – 69%) y bajo ($< 50\%$).

Este patrón mostrado en la Figura 3 y la Tabla 2, sugiere que los estudiantes presentan mejores niveles de comprensión cuando el contenido se mantiene en planos introductorios o representacionales, pero enfrentan mayores obstáculos cuando deben vincular formalismo, abstracción e interpretación. Por tanto, más que evidenciar una evolución temporal, los datos describen una diferenciación en niveles de apropiación cognitiva según el tipo de exigencia conceptual evaluada. Esta precisión fortalece la coherencia entre diseño metodológico y análisis de resultados.

INTERPRETACIÓN FÍSICA Y PERCEPCIÓN ESTUDIANTIL DE COMPLEJIDAD

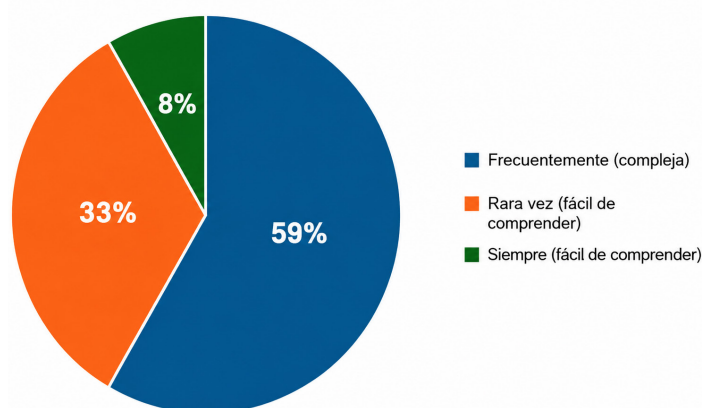
La dimensión de interpretación física fue examinada mediante una encuesta de percepción tipo Likert, cuyo propósito fue identificar cómo los estudiantes valoran subjetivamente la complejidad, comprensión y accesibilidad de la mecánica cuántica en relación a sistemas de dos niveles. Los hallazgos indican que 91.0% de los participantes reconoce de manera frecuente algún grado de complejidad en estos contenidos, mientras una proporción mayoritaria asocia dicha dificultad con la abstracción matemática y conceptual de la mecánica cuántica. Este resultado no debe interpretarse como bajo

rendimiento, sino como evidencia de una percepción consistente de exigencia cognitiva elevada, incluso en estudiantes avanzados de formación disciplinar.

Previo a la construcción del modelo teórico, se consideró necesario analizar la dimensión perceptual del estudiantado respecto a la complejidad de la mecánica cuántica, particularmente en contenidos asociados a sistemas de dos niveles. Esta dimensión permitió complementar los resultados cognitivos obtenidos en la prueba estandarizada y el cuestionario estructurado, incorporando la valoración subjetiva de los estudiantes sobre las barreras de comprensión presentes en esta área disciplinar. Para ello, se aplicó una encuesta de percepción orientada a identificar la frecuencia con que los estudiantes reconocen dificultades conceptuales, matemáticas e interpretativas, cuyos resultados se sintetizan en la Figura 4.

Figura 4

Percepción estudiantil sobre complejidad de la mecánica cuántica



Nota: Elaboración propia a partir de los resultados de la encuesta de percepción aplicada a estudiantes de quinto año de Física-Matemática. La figura muestra la distribución porcentual de estudiantes según su percepción sobre el nivel de complejidad de la mecánica cuántica y los sistemas de dos niveles.

La Figura 4 evidencia que la mayoría del estudiantado percibe la mecánica cuántica y los sistemas de dos niveles como contenidos de elevada complejidad conceptual y matemática. En particular, el 58% manifestó que frecuentemente experimenta dificultades de comprensión, mientras que el 33% indicó que rara vez logra comprender estos contenidos con facilidad. Estos resultados reflejan que, incluso en estudiantes avanzados de Física-Matemática, persisten barreras asociadas al nivel de abstracción, al manejo de operadores matemáticos y a la interpretación física de los fenómenos cuánticos.

En conjunto, los resultados de la prueba estandarizada, el cuestionario estructurado y la encuesta de percepción muestran que los estudiantes presentan mayores niveles de comprensión cuando los contenidos se abordan desde representaciones matemáticas básicas, progresivas y contextualizadas, mientras que las dificultades aumentan en niveles de abstracción e interpretación física compleja. Estos hallazgos constituyen evidencia diagnóstica relevante para sustentar la hipótesis de que un modelo teórico que articule formulación matemática e interpretación física podría favorecer procesos de aprendizaje más significativos en sistemas de dos niveles.

INTEGRACIÓN DE RESULTADOS PARA LA FUNDAMENTACIÓN DEL MODELO TEÓRICO

La triangulación entre los tres instrumentos permitió identificar correspondencias claras entre las dimensiones operativas del estudio:

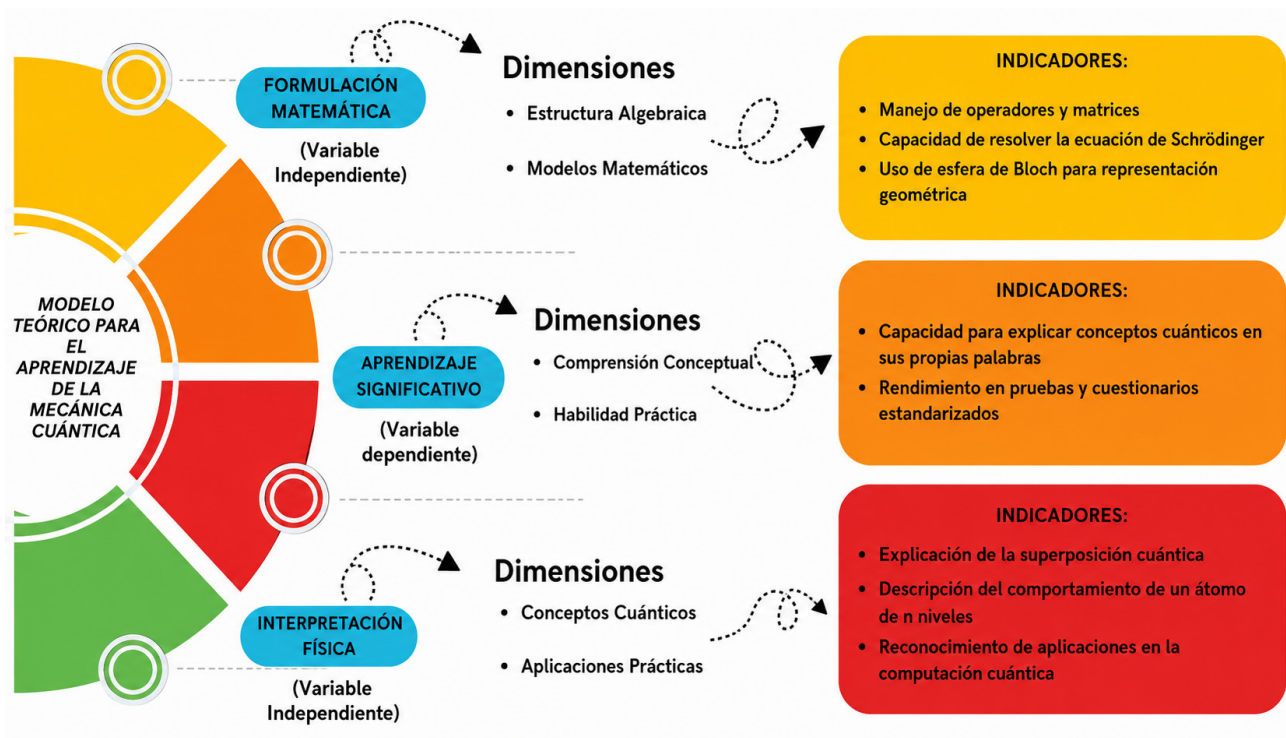
- Formulación matemática: dispersión alta y bases heterogéneas.
- Aprendizaje significativo: comprensión conceptual aceptable, pero desigual.
- Interpretación física: percepción elevada de complejidad disciplinar.

Esta relación permitió sustentar el modelo teórico no como evidencia definitiva de mejora, sino como una propuesta didáctica estructurada para atender las brechas identificadas en cada dimensión, fortaleciendo la trazabilidad entre marco conceptual, operacionalización metodológica y resultados empíricos, aspecto señalado como prioritario en la rúbrica de evaluación.

En consecuencia, los resultados respaldan la pertinencia académica del modelo desde una lógica diagnóstica y de diseño educativo, mostrando que su principal aporte consiste en organizar secuencialmente la enseñanza desde la formulación matemática hacia el aprendizaje significativo y la integración física, más que en demostrar causalmente una mejora del aprendizaje. A continuación, se muestra el esquema del modelo teórico.

Figura 5

Estado de la cuestión sobre enseñanza de mecánica cuántica y sistemas de dos niveles



Nota: Elaboración propia.

La figura representa la estructura conceptual del modelo teórico para el aprendizaje de la mecánica cuántica, organizada en tres dimensiones: formulación matemática, aprendizaje significativo e interpretación física. Cada dimensión integra componentes conceptuales e indicadores orientados a fortalecer la comprensión progresiva de los sistemas de dos niveles en estudiantes universitarios de Física-Matemática.

El modelo teórico propuesto organiza el aprendizaje de los sistemas de dos niveles en una secuencia progresiva que inicia con la formulación matemática básica, continúa con la consolidación del aprendizaje significativo y culmina con la interpretación física de los fenómenos cuánticos. La primera dimensión incorpora operadores, matrices y representaciones algebraicas fundamentales; la segunda favorece la articulación entre conocimientos previos y nuevos conceptos mediante la comprensión conceptual y la habilidad práctica; mientras que la tercera integra la explicación de fenómenos cuánticos y sus aplicaciones tecnológicas. Esta estructura busca disminuir la fragmentación entre formalismo matemático y

comprensión física, facilitando una aproximación más accesible y coherente a la mecánica cuántica en el contexto universitario.

Los indicadores incorporados en el modelo permiten operacionalizar cada dimensión del aprendizaje. En la dimensión de formulación matemática se consideran habilidades relacionadas con el manejo de operadores, matrices y resolución de ecuaciones cuánticas básicas. En el aprendizaje significativo, los indicadores se orientan a la comprensión conceptual, la explicación verbal y el desempeño en instrumentos evaluativos. Finalmente, la interpretación física incorpora la capacidad de relacionar formalismos matemáticos con fenómenos físicos, aplicaciones tecnológicas y comprensión de principios cuánticos fundamentales. Estos indicadores fueron definidos con base en la revisión teórica y los resultados diagnósticos obtenidos durante el estudio. La interacción entre estas dimensiones permite estructurar una trayectoria de aprendizaje progresiva orientada a disminuir la fragmentación entre cálculo matemático, comprensión conceptual e interpretación física en mecánica cuántica.

DISCUSIÓN

Los hallazgos obtenidos permiten analizar el aprendizaje de los sistemas de dos niveles en mecánica cuántica desde las tres dimensiones operativas definidas en el estudio: formulación matemática, aprendizaje significativo e interpretación física, en coherencia con el marco conceptual sustentado en Ausubel (1968), la progresión conceptual y la integración matemática-física propuesta como base del modelo teórico. En este sentido, los resultados no se interpretan como evidencia causal de mejora, sino como indicadores diagnósticos y analíticos que permiten fundamentar la pertinencia estructural del modelo propuesto.

En relación con la hipótesis del estudio, los resultados obtenidos ofrecen respaldo analítico a la proposición de que una estructura pedagógica que integre formulación matemática, interpretación física y aprendizaje significativo puede facilitar una comprensión más progresiva de los sistemas de dos niveles. Si bien el diseño descriptivo no permite establecer relaciones causales directas sobre la implementación del modelo, sí evidencia que las principales dificultades del estudiantado emergen precisamente en la desconexión entre estas dimensiones, lo cual fortalece la pertinencia teórica del modelo propuesto como respuesta estructurada a dicha brecha formativa.

En la dimensión de formulación matemática, la prueba estandarizada evidenció un rendimiento grupal medio-bajo ($M=58.33$), acompañado de una dispersión elevada ($DE=30.01$; $CV=51.45\%$), lo que confirma una marcada heterogeneidad en el dominio inicial de operadores, relaciones algebraicas y resolución de problemas asociados a sistemas de dos niveles. Esta variabilidad sugiere que, incluso en estudiantes avanzados de Física-Matemática, persisten brechas importantes en la transición entre estructuras matemáticas básicas y su aplicación en contextos cuánticos. Desde la perspectiva del aprendizaje significativo, estos resultados respaldan el planteamiento de Ausubel (1968), quien sostiene que la incorporación de nuevos conocimientos depende de la solidez de las estructuras cognitivas previas; por tanto, cuando dichas bases son insuficientes, la abstracción matemática se

convierte en una barrera para la comprensión conceptual. En concordancia, Herrera y Herrera (2023) señalan que la enseñanza de contenidos físicos complejos requiere mediaciones progresivas que conecten representación algebraica con comprensión científica, aspecto que los resultados de este estudio reafirman.

Asimismo, la concentración de estudiantes en niveles bajos e intermedios, junto con la limitada proporción de desempeños altos, coincide con lo reportado por Torrez et al. (2024), quienes identificaron dificultades persistentes en la comprensión de operadores fundamentales de la ecuación de Schrödinger. Sin embargo, mientras dichos autores centraron su análisis en operadores específicos, los presentes resultados amplían la discusión al mostrar que la dificultad no reside únicamente en contenidos aislados, sino en una problemática estructural de integración entre lenguaje matemático y representación física. Esto justifica que el modelo teórico incorpore una progresión desde matrices simples, operadores de Pauli y formulaciones básicas hacia niveles superiores de interpretación.

En la dimensión de aprendizaje significativo, el cuestionario estructurado mostró un promedio general de 66% de respuestas correctas, superior al rendimiento observado en la prueba matemática inicial. Esta diferencia sugiere que los estudiantes alcanzan mayor estabilidad cuando interactúan con relaciones conceptuales organizadas, definiciones estructuradas o representaciones introductorias, pero experimentan mayores dificultades cuando deben transferir dichos conocimientos hacia niveles de mayor abstracción o articulación matemática-física. Este patrón coincide con Córdoba-Fuentes y Herrera-Castrillo (2024), quienes destacan que la mediación didáctica progresiva favorece la apropiación conceptual cuando los contenidos se organizan desde estructuras cognitivas accesibles. De igual manera, señalan que el uso de recursos visuales y actividades organizadas de manera progresiva favorece la disminución de dificultades iniciales en el aprendizaje de la física; sin embargo, enfatizan que estas estrategias deben implementarse con una adecuada coherencia metodológica para prevenir procesos de aprendizaje desarticulados.

Por tanto, los resultados del cuestionario no evidencian una comprensión homogénea, sino una diferenciación entre reconocimiento conceptual básico y transferencia cognitiva compleja. Esta distinción fortalece el modelo teórico al justificar la incorporación explícita de una dimensión de aprendizaje significativo como puente entre dominio matemático y comprensión física, evitando que el aprendizaje quede restringido a memorización operativa.

En relación con la interpretación física, la encuesta de percepción mostró que la mayoría del estudiantado reconoce altos niveles de complejidad en la mecánica cuántica, particularmente asociados a abstracción conceptual, rigor matemático y dificultad interpretativa. Este hallazgo resulta consistente con investigaciones internacionales como Kohnle et al. (2015), quienes señalan que la comprensión de sistemas de dos niveles mejora cuando las representaciones abstractas se acompañan de visualizaciones, simulaciones y estructuras pedagógicas progresivas. Asimismo, Albert et al. (2025) plantean que enfoques contemporáneos como Spin First reducen la sobrecarga matemática inicial al introducir fundamentos cuánticos desde representaciones más accesibles. En el presente estudio, la percepción elevada de complejidad refuerza la necesidad de estrategias que traduzcan formalismos matemáticos hacia experiencias de interpretación física más comprensibles, justificando la inclusión de herramientas como esfera de Bloch, superposición cuántica, qubits y visualización estructural dentro del modelo (Bloch, 1946; Rabi, 1937).

De manera integrada, los resultados empíricos permiten sostener que las principales dificultades identificadas no son aleatorias ni exclusivamente atribuibles a contenidos aislados, sino que responden a una brecha estructural entre tres procesos: comprender matemáticamente, relacionar significativamente e interpretar físicamente. Esta articulación constituye el principal aporte del modelo teórico propuesto, ya que organiza el aprendizaje de sistemas de dos niveles como una trayectoria progresiva y no como una exposición fragmentada de fórmulas o conceptos.

Entre las principales limitaciones del estudio se reconoce el tamaño reducido de la muestra y el alcance

descriptivo-transversal del diseño, aspectos que limitan la generalización de los resultados hacia otros contextos universitarios. No obstante, los hallazgos ofrecen evidencia diagnóstica pertinente para fundamentar futuras investigaciones e intervenciones didácticas en la enseñanza de mecánica cuántica.

Finalmente, aunque el tamaño muestral y el diseño descriptivo-transversal limitan generalizaciones amplias, los hallazgos ofrecen evidencia contextual suficiente para sustentar la pertinencia académica del modelo como propuesta didáctica en formación universitaria. Más que demostrar efectividad concluyente, el estudio establece bases diagnósticas y conceptuales para futuras investigaciones orientadas a validar, implementar y comparar estrategias pedagógicas sobre enseñanza de mecánica cuántica en contextos universitarios. En consecuencia, la propuesta responde al vacío identificado en la literatura regional, al ofrecer una estructura integradora que vincula formulación matemática, aprendizaje significativo e interpretación física como fundamento para la enseñanza progresiva de sistemas de dos niveles.

CONCLUSIONES

En función del objetivo principal orientado a proponer un modelo teórico para el aprendizaje de sistemas de dos niveles en mecánica cuántica, los resultados permiten concluir que la articulación entre formulación matemática, aprendizaje significativo e interpretación física constituye una estructura conceptualmente pertinente para organizar progresivamente la enseñanza de este contenido en estudiantes universitarios de Física-Matemática. El estudio evidenció que la comprensión inicial de los participantes presenta mayores fortalezas en representaciones matemáticas básicas que en procesos de abstracción, transferencia conceptual e interpretación física, lo que confirma la necesidad de una propuesta estructurada que favorezca la transición desde niveles introductorios hacia comprensiones más complejas.

En relación con la hipótesis planteada, los hallazgos descriptivos obtenidos respaldan parcialmente que el diseño del modelo teórico posee potencial formativo para facilitar una comprensión más progresiva,

contextualizada y significativa, particularmente al integrar secuencias que vinculan operadores matemáticos, estructuras algebraicas básicas y representación conceptual de fenómenos cuánticos. No obstante, dado el carácter no experimental, transversal y descriptivo del estudio, esta investigación no permite afirmar de manera causal la efectividad plena de su implementación, sino más bien sustentar su pertinencia teórica, metodológica y diagnóstica como propuesta educativa fundamentada.

Asimismo, se concluye que la dimensión de formulación matemática representa el punto de partida esencial, pero insuficiente por sí sola, para la comprensión de contenidos cuánticos, siendo necesario incorporar mediaciones didácticas que promuevan aprendizaje significativo e interpretación física para superar dificultades asociadas a la abstracción cognitiva. La percepción estudiantil de alta complejidad frente a la mecánica cuántica refuerza esta necesidad, evidenciando que el aprendizaje de estos contenidos demanda estrategias progresivas, visuales y conceptualmente articuladas.

Por tanto, el modelo teórico propuesto constituye una guía académica viable para estructurar procesos iniciales de enseñanza sobre modelos de dos estados, al ofrecer una organización coherente entre fundamentos disciplinares y pedagógicos. Su principal aporte radica en establecer una base conceptual replicable que puede orientar futuras estrategias metodológicas, diseño de recursos didácticos o intervenciones curriculares en física cuántica universitaria. Además, el estudio aporta una referencia contextual para la enseñanza universitaria de mecánica cuántica en Nicaragua y otros contextos latinoamericanos con características formativas similares.

Finalmente, se recomienda que investigaciones posteriores evalúen la implementación del modelo mediante diseños cuasi-experimentales o longitudinales, incorporen muestras más amplias y desarrollen indicadores específicos por niveles de dominio cognitivo, con el fin de contrastar empíricamente su impacto sobre el aprendizaje y fortalecer su validación como herramienta metodológica para la enseñanza de contenidos cuánticos complejos.

REFERENCIAS

- Albert, C., Förster, M., & Pospiech, G. (2025). Developing a quantum physics curriculum for lower secondary education: Insights into the design of a Spin First teaching concept and first empirical findings. *EPJ Quantum Technology*, 12, 1-28. <https://doi.org/10.1140/epjqt/s40507-025-00436-0>
- Altamirano, F. y Rivera, E. (2024). Experimentación y demostración de los postulados de Broglie y las propiedades ondulatorias de las partículas a través de simuladores virtuales. [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua]. UNAN-Managua/CUR-Estelí, Estelí, Nicaragua. <http://repositorio.unan.edu.ni/id/eprint/22185>
- Arias, J., Holgado, J., Tafur, T. y Vásquez, M. (2022). *Metodología de la investigación*. Instituto Universitario de Innovación, Ciencia y Tecnología. <https://editorial.inudi.edu.pe/index.php/editorialinudi/catalog/view/22/16/32>
- Ausubel, D. (1968). Facilitating meaningful verbal learning in the classroom. *The Arithmetic Teacher*, 15(2), 126-132. <https://doi.org/10.5951/AT.15.2.0126>
- Bloch, F. (1946). Nuclear induction. *Physical Review*, 70(7), 460-474. <https://doi.org/10.1103/PhysRev.70.460>
- Canales, C., Delgadillo, E. y López, F. (2024). Instrumentos de evaluación en un enfoque por competencia en el componente de la Física Cuántica. [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua]. UNAN-Managua/CUR-Estelí, Estelí. <https://repositorio.unan.edu.ni/id/eprint/22180/>
- Carvajal, A. (2002). Teorías y modelos: formas de representación de la realidad. *Revista Comunicación*, 12(1), 1-14. <https://www.redalyc.org/pdf/166/16612103.pdf>
- Córdoba-Fuentes, D. y Herrera-Castrillo, C. (2024). Desarrollo de competencias en física-matemática a través de los productos integradores. *Revista Científica ECOCIENCIA*, 11(2), 24-43. <https://doi.org/10.21855/ecociencia.112.875>

- Eisberg, R. y Resnick, R. (1983). *Física cuántica, átomos, moléculas, sólidos, núcleos y partículas*. Limusa. <https://es.scribd.com/document/405207305/Fi-sica-cua-ntica-a-tomos-mole-culas-so-lidos-nucleos-y-parti-culas-Robert-Martin-Eisberg-Robert-Resnick-pdf>
- Fanaro, M., Alvarado, K. y Suasnábar, J. (2022). Análisis de textos escritos de los estudiantes al finalizar una secuencia didáctica para enseñar mecánica cuántica basada en el enfoque de Feynman. *Revista de Investigación | Órgano de divulgación de la Coordinación de Investigación e Innovación*, 46(106), 200-218. <http://historico.upel.edu.ve:81/revistas/index.php/revinvest/article/view/9659>
- Hernández, D. y Herrera, C. (2023). Modelo didáctico en el proceso Enseñanza-Aprendizaje en nivel superior. *Revista Científica digital de educación EDUSER* 10(2), 48-60. https://www.researchgate.net/publication/377244177_Modelo_Didactico_en_el_Proceso_Ensenanza_-_Aprendizaje_en_Nivel_Superior
- Hernández, R., Talavera, C., Dávila, F. y Herrera, C. (2025). Disciplina consciente como herramienta para el aprendizaje de Geografía de Nicaragua. *Revista Académica Sociedad del Conocimiento Cunzac*, 5(2), 230-243. <https://doi.org/10.46780/sociedadcunzac.v5i2.189>
- Herrera, C. (2024). Paradigma Positivista. *Boletín científico de las ciencias Económico administrativas del ICEA*, 12(24), 29-32. <https://doi.org/10.29057/icea.v12i24.12660>
- Herrera, J. y Herrera, C. (2023). Bases orientadoras de la acción para el desarrollo de temas de física con enfoque por competencias. *Revista Científica Estelí*, (46), 84-107. <https://doi.org/10.5377/farem.v12i46.16477>
- Kohnle, A., Baily, C., Campbell, A., Korolkova, N., & Paetkau, M. J. (2015). Enhancing student learning of two-level quantum systems with interactive simulations. *American Journal of Physics*, 83(6), 560-566. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1501.07905>
- Laguna, Y., Pérez, K. y Zeledón, G. (2024). Software interactivo en guías de aprendizaje que faciliten el enfoque por competencias en modelos atómicos. [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua]. UNAN-Managua/CUR-Estelí, Estelí. <https://repositorio.unan.edu.ni/id/eprint/22182/>
- López, F., Canales, C., Delgadillo, E. y Herrera-Castrillo, C. (2024). Evaluación por competencia en el postulado de Broglie y propiedades ondulatorias de las partículas. *Revista Oratores*, 7(21), 12-26. <https://doi.org/10.37594/oratores.n21.1524>
- Martínez, D., Briones, N. y Fonseca, M. (2023). Propuesta de Modelo Educativo con enfoque Socio Constructivista que sirva como base para la Transformación Curricular por competencia para la Universidad Central de Nicaragua, I semestre 2023. [Tesis de licenciatura, Universidad Central de Nicaragua] UCN, Managua. <https://repositorio.ucn.edu.ni/id/eprint/22>
- Mendibil, X. (2025). *¿Qué es lo real? Relatividad general, mecánica cuántica y la fractura ontológica de la Física moderna*. [Trabajo de fin de grado, Universidad Europea]. Repositorio de la Universidad Europea. <https://share.google/rIdNkvXwSRK8EtCuO>
- Nikolaus, P., Dželalija, M., & Weber, I. (2024). Investigating Students' Conceptual Knowledge of Quantum Physics to Improve the Teaching and Learning Process. *Education Sciences*, 14(10), 1-22. <https://doi.org/10.3390/educsci14101113>
- Pauletich, F. (2025). Secuencia didáctica para la incorporación de la mecánica cuántica en la enseñanza media. [Tesis de maestría, Universidad Nacional de la Plata]. Facultad de Ciencias Exactas. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/180513>
- Pulido, J. (2025). La teoría del aprendizaje significativo de Ausubel. *Boletín PPDQ*, 8(1994-1), 11-13. <https://revistas.upn.edu.co/index.php/PPDQ/article/view/24186>
- Rabi, I. (1937). Space quantization in a gyrating

- magnetic field. *Physical Review*, 51(8), 652–654.
<https://doi.org/10.1103/PhysRev.51.652>
- Torres, G. (2018). Diseño de una unidad de enseñanza potencialmente significativa para introducir la mecánica cuántica en la educación básica secundaria. [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia]. Universidad Nacional de Colombia. <https://bffrepositorio.unal.edu.co/server/api/core/bitstreams/890b63c6-039d-421e-ba85-22f3c1a104ca/content>
- Torres, T. (2025). Desafíos y oportunidades en la formación de profesores de Física en tiempos de complejidad e incertidumbre. *Góndola, enseñanza y aprendizaje de las ciencias*, 20(1), 1-3. <https://doi.org/10.14483/23464712.23138>
- Tórrez, E. y Saballos, J. (2023). Modelo teórico para la conducción de la extensión universitaria en la carrera de Agroecología, UNAN-León, Nicaragua. *El Higo: Revista Científica*, 13(1), 13-30. <https://doi.org/10.5377/elhigo.v13i1.16368>
- Torrez, X. De la Cruz, J., y Herrera, C. (2024). La teoría de Schrödinger en la resolución de problemas en un modelo por competencias en educación superior. *Revista latinoamericana de calidad educativa*, 1(4), 56-67. <https://doi.org/10.70625/4xfep395>
- Wörner, C. (2022). Problemas en la transposición didáctica para un sistema clásico y uno cuántico: el caso de la partícula en una caja. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 44, e20220010. <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2022-0010>
- Zuñiga-Arrieta, S. y Camacho-Calvo, S. (2022). Referentes teóricos para un modelo de acreditación desde la evaluación y la gestión de calidad. *Revista Electrónica Educare*, 26(1), 1-19. <https://doi.org/10.15359/ree.26-1.15>