



**Óptica clásica como puente pedagógico hacia la mecánica cuántica en la educación media:
Diseño y evaluación cuantitativa de experiencias en grado 11° en la I. E. Nuestra Señora del
Rosario Manzanares**

Laura Isabel León Díaz

Trabajo de grado de maestría presentado para optar al título de Magíster en Ciencias Naturales y
Matemática

Director

Juan Humberto Serna Restrepo, Doctor (PhD) en Física

Universidad Pontificia Bolivariana

Escuela de Ingenierías

Maestría en Ciencias Naturales y Matemática

Medellín, Antioquia, Colombia

2025

El contenido de este documento no ha sido presentado con anterioridad para optar a un título, ya sea en igual forma o con variaciones, en esta o en cualquiera otra universidad.

Dedicatoria

A mi familia, esposo e hija, son mi razón de ser, para mis padres, hermanos y sobre todo a mi abuela Maruja.

Tabla de Contenido

Resumen	10
Abstract	11
1. Planteamiento del problema	12
1.1 Introducción:	12
1.2 Justificación.....	13
1.3 Antecedentes	15
2. Objetivos	17
2.1 Objetivo general	17
2.2 Objetivos específicos.....	17
3. Hipótesis.....	18
3.1. Hipótesis de trabajo (H_1)	18
3.1.1 Hipótesis nula (H_0).....	18
3.1.2. Variables	18
4. Marco Conceptual	20
4.1. Fundamentos epistemológicos de la relación entre óptica y mecánica cuántica.....	20
4.2 La óptica clásica como base fenomenológica	21
4.3 Interferencia	22
4.4 Polarización.....	22
4.5 Espectros y cuantización	23
4.6 Nociones elementales de mecánica cuántica vinculadas a la experiencia óptica.....	23
4.6.1 Dualidad onda-partícula	24
4.6.2 Superposición de estados	24
4.6.3 Cuantización de la energía	25
4.6.4 Papel de la medición y modificación del estado	25

4.7 La transición conceptual entre óptica y mecánica cuántica	26
4.8. Estudios previos y perspectivas contemporáneas en la educación científica.....	28
5. Metodología	31
5.1 Seleccionar montajes experimentales de óptica clásica como puente pedagógico hacia conceptos fundamentales de la mecánica cuántica.....	32
5.1.1. Sustento epistemológico	33
5.1.2. Sustento fenomenológico y didáctico	33
5.1.3. Montajes seleccionados y su propósito cuántico	34
5.2. Implementar la secuencia de prácticas experimentales con los estudiantes.....	36
5.2.1. Justificación pedagógica de la implementación.....	36
5.2.2. Procedimiento de implementación.....	37
5.2.3. Consideraciones éticas y de equidad en la implementación	38
5.2.4. Guía de laboratorio con los tres montajes seleccionados.....	38
5.2.4. Rúbrica para evaluar la comprensión y el desempeño experimental en las guías de laboratorio	39
5.3. Aplicación de la prueba.....	44
5.3.1. Fundamentación del instrumento	44
5.3.2. Estructura de la prueba de Comprensión	44
5.3.3 Sistema de puntuación	45
5.4. Comparar la comprensión registrada en las guías experimentales con las respuestas de la prueba	47
5.4.1. Fundamentación del análisis comparativo	48
5.4.3. Análisis descriptivo y pertinencia pedagógica de la comparación	49
6. Analisis de Resultados	50
6.1 Resultados	50
6.1.1 Resultados preguntas cerradas test.....	50

6.1.2. Resultados por pregunta abierta.....	53
6.1.3. Resultados de las guías experimentales	56
6.2. Análisis Preguntas Cerradas.....	57
6.2.1. Interferencia y coherencia (P1–P4).....	57
6.2.2. Polarización y superposición (P5–P9)	58
6.2.3. Espectroscopía y cuantización (P10–P12).....	59
6.2.4. Dualidad, probabilidad y conceptos puente (P13–P16).....	59
6.3. Análisis de preguntas abiertas (P5, P9, P12, P13, P16)	60
6.3.1. P5 – Polarización lineal	60
6.3.2. P9 – Explicación del montaje con tres polarizadores	62
6.3.3. P12 – Interpretación cualitativa del espectro y cuantización.....	64
6.3.4. P13 – Dualidad onda–partícula.....	66
6.3.5. P16 – Reflexión final integradora	68
6.4. Análisis del desempeño en las guías experimentales	70
6.4.1 Resultados generales del desempeño experimental por grupo	71
6.4.2 Análisis por dimensiones de la guía experimental.....	71
6.5. Correlación entre el desempeño en las guías de laboratorio y los resultados de la prueba.....	73
6.5.1 Correlación general por grupos.....	73
6.5.2 Correlación guías–test.....	75
7. Conclusiones	76
8. Recomendaciones.....	77
9. Referencias	80
10. Anexos.....	83
Anexo 1 ; Guía Experimental.....	83
Anexo 2: Apéndice (Especificaciones técnicas)	92

Anexo 3: Test implementado con los estudiantes	93
Anexo 4: Registro de puntos de los estudiantes de C1 en la prueba	96
Anexo 5 Registro de puntos de los estudiantes de C2 en la prueba	97
Anexo 6 Registro respuestas abiertas de la prueba	98
Anexo 7: Registro de puntuación de las guías experimentales	106
Anexo 8: Evidencia de las guías diligenciadas por los estudiantes.....	107

Lista de figuras

Figura 1: Representación del patrón de interferencia en el experimento de Young. Nota. Elaboración propia mediante el modelo de lenguaje a gran escala Gemini (Google, 2024).	22
Figura 2 Diagrama de flujo del trayecto metodológico de la investigación.....	32
Figura 3: Interferencia en doble rendija, fuente laser apuntador común potencia <10 mW placa con doble rendija y pantalla.	34
Figura 4: Fuente de luz amarilla intensidad 589nm, tres filtros de polarizador y una pantalla...35	
Figura 5: Espectroscopio casero: Tubo papel de cocina, CD y cinta aislante negra.....	36

Lista de tablas

Tabla 1: Rúbrica de evaluación para cuantificar las guías de laboratorio.....	41
Tabla 2: Registro de datos guía.....	42
Tabla 3: Registro de datos prueba.....	45
Tabla 4: codificación de conceptos.....	46
Tabla 5; Resultados preguntas cerradas test.....	52
Tabla 6: Polarización lineal.....	54
Tabla 7: Montaje con tres polarizadores.....	54
Tabla 8: Espectro y cuantización.....	55
Tabla 9: Dualidad onda-partícula.....	55
Tabla 10: Reflexión sobre óptica y cuántica.....	56
Tabla 11: Resultados guías experimentales.....	56

Resumen

La enseñanza de la física moderna en la educación media continúa siendo limitada, lo que dificulta que los estudiantes comprendan fenómenos contemporáneos asociados a la mecánica cuántica. Este estudio tuvo como objetivo evaluar si la experimentación en óptica clásica puede funcionar como un puente pedagógico para introducir conceptos cuánticos iniciales en estudiantes de grado 11.º. Para ello se diseñaron tres prácticas experimentales accesibles —interferencia en doble rendija, polarización con tres polarizadores y espectroscopía casera— acompañadas de guías estructuradas que orientaron la observación, el registro de datos y la interpretación fenomenológica. Posteriormente, se aplicó un test que evaluó la capacidad de los estudiantes para articular los fenómenos ópticos observados con nociones como superposición, incompatibilidad de estados, dualidad onda-partícula y cuantización de energía.

Los resultados muestran una correlación positiva entre el desempeño en las guías y la calidad de las explicaciones en la prueba, indicando que los grupos que realizaron montajes más precisos y análisis más reflexivos lograron establecer conexiones conceptuales cuánticas con mayor claridad. Estos hallazgos evidencian que la óptica, al ofrecer fenómenos observables y medibles, facilita la transición desde modelos clásicos hacia razonamientos compatibles con la física moderna. Se concluye que la experimentación en óptica constituye una estrategia pedagógica pertinente, asequible y eficaz para fortalecer la comprensión conceptual y acercar la mecánica cuántica a la educación media sin recurrir a formalismos matemáticos avanzados.

Palabras clave: óptica, mecánica cuántica, experimentación, aprendizaje, educación en física.

Abstract

The teaching of modern physics in secondary education remains limited, which restricts students' understanding of contemporary scientific phenomena linked to quantum mechanics. This study aimed to evaluate whether classical optics experiments can serve as an effective pedagogical bridge to introduce foundational quantum concepts to 11th-grade students. Three accessible laboratory activities—double-slit interference, three-polarizer transmission, and a homemade spectroscope—were designed and implemented, each supported by structured guides that directed observation, data recording, and phenomenological interpretation. A conceptual test was subsequently administered to assess students' ability to relate the observed optical phenomena to ideas such as superposition, state incompatibility, wave-particle duality, and energy quantization.

Results show a positive correlation between performance on the laboratory guides and the quality of the responses on the test. Students who executed the setups more accurately and engaged in deeper analysis demonstrated a clearer ability to articulate quantum-related explanations. These findings indicate that optics, by providing observable and manipulable phenomena, facilitates the cognitive transition from classical reasoning toward models aligned with modern physics. The study concludes that experimentation in optics is a pedagogically relevant, accessible, and effective strategy for enhancing conceptual understanding and introducing quantum mechanics in secondary education without requiring advanced mathematical formalism.

Keywords: optics, quantum mechanics, experimentation, learning, physics education.

1. Planteamiento del problema

1.1 Introducción:

En el contexto actual, marcado por una rápida evolución científica y tecnológica, los estudiantes de educación media interactúan de manera cotidiana con dispositivos cuyo funcionamiento depende de principios fundamentales de la mecánica cuántica. Sin embargo, estos contenidos continúan ausentes en la mayoría de los currículos escolares, manteniendo una brecha entre la ciencia que se enseña en las aulas y la ciencia que sostiene el mundo contemporáneo.

Frente a esta dificultad, resulta pertinente explorar estrategias didácticas que permitan una aproximación conceptual a la mecánica cuántica sin recurrir de manera directa a su aparato matemático formal. En este sentido, la vinculación de ciertos fenómenos ópticos con ideas fundamentales de la física cuántica constituye una vía pedagógica viable. Dragoman (2002) señala que la óptica clásica y la mecánica cuántica comparten razonamientos conceptuales, que permiten interpretar fenómenos como la interferencia, la superposición o la relación entre observación y resultado desde marcos conceptuales próximos Ausubel (1983). Estos fenómenos, desde un punto de vista histórico, han sido claves en la formulación de la física cuántica y comparten estructuras fenomenológicas que facilitan la transición conceptual hacia ideas como la dualidad onda-partícula, la superposición, la cuantización de la energía y el rol del observador.

En este proyecto, la óptica se concibe como un punto de partida conceptual, experiencial y pedagógico para aproximar a los estudiantes de grado undécimo a las nociones fundamentales de la mecánica cuántica, a través de experiencias experimentales diseñadas con materiales accesibles y procedimientos compatibles con el contexto escolar. La experimentación en óptica permite así poner en juego procesos de observación, interpretación y análisis que históricamente han sido centrales en la construcción de la física cuántica, favoreciendo la articulación entre fenómenos observables y conceptos abstractos.

Para explorar este posible vínculo pedagógico, se implementaron prácticas experimentales de óptica con estudiantes de grado 11.º, acompañadas de una guía experimental que los estudiantes debían completar durante cada experiencia. Posteriormente, se aplicó una prueba de comprensión

orientada a indagar su capacidad para relacionar los fenómenos ópticos observados con ideas fundamentales de la mecánica cuántica.

A partir de este planteamiento, el proyecto se orienta a responder la siguiente pregunta de investigación:

¿Cómo las prácticas experimentales de óptica clásica permiten evidenciar relaciones conceptuales asociadas a la mecánica cuántica en estudiantes de educación media?

1.2 Justificación

El desarrollo de la mecánica cuántica ha permitido comprender la naturaleza a escalas atómicas y moleculares. Se ha consolidado como la base teórica en la comprensión de los fenómenos que van más allá de la experiencia cotidiana que pueden ofrecer los sentidos, lo que a su vez es fundamental en el desarrollo de tecnologías innovadoras. Tal como enfatizan Nielsen y Chuang (2010), esta teoría no solo esclarece el funcionamiento intrínseco del universo, sino que también sustenta la evolución tecnológica actual.

En las últimas décadas, estos desarrollos han dado lugar a lo que se denomina la segunda revolución cuántica, una etapa caracterizada por el paso de la simple descripción de los fenómenos cuánticos a su control y manipulación en sistemas tecnológicos concretos. Este proceso ha permitido el desarrollo de nuevas tecnologías basadas en principios como la superposición, la coherencia y el entrelazamiento, con aplicaciones en áreas como la computación cuántica, las comunicaciones seguras y la metrología de alta precisión, lo que refuerza el papel de la mecánica cuántica como fundamento del desarrollo científico y tecnológico actual, tal como lo señalan Nielsen y Chuang (2010).

A partir de estos desarrollos, aunque la mecánica cuántica introduce una interpretación particular de fenómenos como la superposición de estados y la interferencia, muchos de estos principios encuentran antecedentes conceptuales en la óptica clásica y en el electromagnetismo, lo que abre la posibilidad de establecer puentes didácticos entre descripciones accesibles a los sentidos y modelos de mayor nivel de abstracción. En el ámbito educativo, Ausubel (1983) y Piaget (1972) destacan que las experiencias sensoriales y el acompañamiento en el proceso de construcción del conocimiento constituyen un punto de partida fundamental para avanzar hacia

comprensiones más abstractas, especialmente en la educación media, donde los modelos y las analogías cumplen un papel relevante al ofrecer referencias conceptuales iniciales que permiten a los estudiantes aproximarse progresivamente a ideas que, en su formalismo riguroso, requieren un tratamiento matemático avanzado. Desde esta orientación, la observación y el análisis de fenómenos ópticos no buscan sustituir los fundamentos teóricos de la mecánica cuántica, sino proporcionar un primer marco de comprensión fenomenológico que facilite la transición hacia dichas ideas.

En este proyecto, la conceptualización descriptiva derivada de las prácticas experimentales en óptica se concibe justamente como ese posible punto de partida para explorar si los estudiantes pueden establecer conexiones iniciales con algunos conceptos cuánticos. Ates y Aktamis (2024) muestran que las experiencias permiten elaborar explicaciones cualitativas que preparan cognitivamente a los estudiantes para abordar nociones más complejas

Si estas aproximaciones fenomenológicas pueden facilitar conexiones iniciales con la física cuántica, es fundamental explorar su pertinencia en los contextos escolares concretos donde se llevan a cabo los procesos de enseñanza. En Colombia, la educación media mantiene un enfoque predominantemente clásico en sus planes de estudio, lo que restringe el acercamiento de los estudiantes a conceptos contemporáneos. Ante esta limitación, los fenómenos ópticos, que ya forman parte de los contenidos escolares y pueden reproducirse con recursos accesibles, surgen como una oportunidad para iniciar ese acercamiento conceptual.

La pertinencia de esta propuesta pedagógica se enmarca, además, en los principios del enfoque STEM (Ciencia, Tecnología, Ingeniería y Matemáticas, por sus siglas en inglés), el cual se evidencia de manera transversal en el diseño de las experiencias de aula. En el ámbito de la Ciencia (S), los estudiantes abordan la indagación de fenómenos ópticos (interferencia, polarización y espectroscopía) como vehículo para la asimilación conceptual de la dualidad onda-partícula y la cuantización. Desde la Tecnología (T), la propuesta integra el manejo de fuentes de emisión coherente (láseres) y filtros polados para la manipulación y control del comportamiento de la luz. El componente de Ingeniería (E) se materializa de forma práctica en el diseño, construcción y calibración del espectroscopio casero, desafiando a los estudiantes a ensamblar un instrumento funcional para aislar y difractar la luz resolviendo problemas de diseño con materiales del entorno. Finalmente, las Matemáticas (M) actúan como lenguaje articulador mediante el

reconocimiento de patrones geométricos en las franjas de interferencia y la sistematización de datos cualitativos y cuantitativos obtenidos durante el proceso de evaluación.

1.3 Antecedentes

La enseñanza de la física moderna en contextos escolares ha sido objeto de múltiples debates debido a la complejidad conceptual que caracteriza a la mecánica cuántica y a la distancia que existe entre su formalismo matemático y las posibilidades reales del aula. Diversos estudios en educación en ciencias señalan que los estudiantes suelen enfrentar dificultades para comprender conceptos como superposición, dualidad o incertidumbre cuando se presentan únicamente desde formulaciones abstractas (Maguire & Henriksen (2011)). Esto ha motivado la búsqueda de estrategias que permitan aproximarse a estas ideas de manera cualitativa y accesible.

Históricamente, la óptica desempeñó un papel decisivo en el surgimiento de la física moderna, pues muchos de los fenómenos que cuestionaron los límites de la mecánica clásica se manifestaron inicialmente en el comportamiento de la luz. Bitbol (2007) señala que las primeras formulaciones de la teoría cuántica estuvieron profundamente influenciadas por analogías con los modelos ondulatorios de la óptica, lo que evidencia una relación conceptual que antecede al formalismo matemático de la física moderna. De manera complementaria, Eberly (2020) destaca que ciertos experimentos ópticos accesibles, como la interferencia, la difracción o la polarización, permiten observar comportamientos que comparten rasgos conceptuales con los fenómenos cuánticos, aun sin conocer a la descripción matemática completa. Esto sugiere que la óptica ofrece en la educación media un marco fenomenológico pertinente para explorar aproximaciones cualitativas a ideas cuánticas.

Desde el ámbito educativo, estudios recientes han explorado el valor pedagógico de los fenómenos ópticos para fomentar la comprensión conceptual de ideas no clásicas. Westerberg y Bennett (2023) señalan que experimentos ópticos sencillos permiten observar comportamientos que desafían las explicaciones puramente clásicas y abren oportunidades para discutir principios modernos sin recurrir al formalismo matemático. De manera complementaria, Ates y Aktamis (2024) encontraron que las actividades experimentales en óptica fortalecen habilidades

investigativas y promueven explicaciones cualitativas más elaboradas, lo que favorece la construcción de modelos mentales iniciales vinculados con la física contemporánea.

En el contexto colombiano, diversos estudios han señalado la persistencia de un currículo de física centrado en la mecánica clásica, con escasa presencia de contenidos relacionados con la física moderna en la educación media, lo que limita las oportunidades para que los estudiantes comprendan los principios científicos que sustentan muchas de las tecnologías contemporáneas. El trabajo realizado por Cortés (2021), desarrollado en el marco de la Universidad Pedagógica Nacional, destaca que esta brecha se ve agravada por la falta de infraestructura experimental en las instituciones educativas y por las dificultades que enfrentan los docentes para incorporar prácticas innovadoras asociadas a la física moderna. No obstante, el mismo estudio resalta que los fenómenos ópticos, debido a su accesibilidad, su carácter observable y su pertinencia curricular, pueden constituir un punto de entrada adecuado para aproximar a los estudiantes a conceptos que, en su formalización matemática, resultarían inaccesibles en el contexto escolar. En esta línea, resulta pertinente explorar si las prácticas experimentales en óptica, abordadas desde un enfoque fenomenológico, pueden contribuir a la construcción de conexiones conceptuales iniciales hacia la física cuántica en el aula colombiana.

A nivel latinoamericano, distintas investigaciones han buscado aproximar la física moderna a la escuela mediante secuencias didácticas apoyadas en fenómenos ópticos y explicaciones cualitativas. En Moreira y Ostermann (2011) han mostrado que la enseñanza de la física moderna requiere partir de situaciones fenomenológicas accesibles, señalando que los estudiantes logran mejores interpretaciones cuando se emplean modelos cualitativos antes que formulaciones matemáticas complejas. En México, López, Ramos y Benítez (2017) desarrollaron propuestas basadas en experimentos ópticos simples, como difracción y dispersión de la luz, concluyendo que estos permiten introducir ideas cuánticas de manera gradual y significativa. Por su parte, en Argentina, Colavita y Pessa (2019) evidenciaron que el trabajo experimental con luz y fenómenos ondulatorios favorece la construcción de explicaciones preliminares sobre conceptos modernos, al ofrecer a los estudiantes referentes observables sobre los cuales construir relaciones conceptuales. En conjunto, estos trabajos latinoamericanos coinciden en que la óptica escolar ofrece un terreno didáctico valioso para aproximar cualitativamente a los estudiantes a conceptos cuánticos,

reforzando la necesidad de investigaciones empíricas que analicen cómo estas dinámicas se manifiestan en contextos educativos específicos, como el colombiano.

2. Objetivos

2.1 Objetivo general

Introducir la enseñanza de la Física Moderna en la educación media a partir de la óptica clásica, mediante el diseño, implementación y análisis de estrategias experimentales que permitan introducir de manera descriptiva conceptos fundamentales de la mecánica cuántica.

2.2 Objetivos específicos

2.2.1 Seleccionar montajes experimentales de óptica clásica que sirvan como puente pedagógico para abordar conceptos fundamentales de la mecánica cuántica (dualidad onda-partícula, cuantización de energía y superposición).

2.2.2 Implementar las prácticas seleccionadas en el contexto escolar, acompañadas de una guía experimental que permita registrar las observaciones y el nivel de comprensión fenomenológica de los estudiantes.

2.2.3 Aplicar una prueba que permita evidenciar en qué medida los estudiantes logran construir explicaciones la articulación de los comportamientos ópticos observados con nociones elementales de la mecánica cuántica.

2.2.4 Explorar la correspondencia entre la comprensión de los fenómenos ópticos y la capacidad de establecer conexiones conceptuales iniciales con ideas de la mecánica cuántica.

3. Hipótesis

La hipótesis se plantea como la explicación probable que establece relaciones entre variables y que puede contrastarse con los datos obtenidos. En esta investigación, las hipótesis se formulan en coherencia con el enfoque metodológico basado en prácticas experimentales de óptica y una prueba aplicada posteriormente.

3.1. Hipótesis de trabajo (H_1)

La implementación sistemática de prácticas experimentales de óptica clásica, acompañadas de la guía desarrollada por los estudiantes, favorece la construcción de explicaciones que evidencian conexiones conceptuales iniciales con fundamentos básicos de la mecánica cuántica en la prueba aplicada.

3.1.1 Hipótesis nula (H_0)

La implementación de prácticas experimentales de óptica clásica y la guía de trabajo no generan evidencias de conexiones conceptuales hacia la mecánica cuántica en las respuestas de la prueba aplicada.

3.1.1.1. Hipótesis alterna (H_a)

Los niveles de comprensión conceptual evidenciados por los estudiantes en las guías de óptica se reflejan en sus niveles de desempeño en la prueba; es decir, los estudiantes que muestran mayor comprensión fenomenológica en las prácticas ópticas tienden también a establecer conexiones más claras con conceptos cuánticos en la evaluación posterior.

3.1.2. Variables

Variable principal

Relaciones conceptuales óptica–cuántica: conexiones identificadas entre los fenómenos ópticos trabajados y nociones básicas de mecánica cuántica reflejadas en la prueba.

Variables asociadas

Desempeño en la guía experimental: nivel de comprensión fenomenológica del estudiante sobre los fenómenos ópticos (interferencia, polarización, espectros, etc.).

Desempeño conceptual en la prueba por categorías: interferencia, polarización / superposición, cuantización de energía y conexiones cuánticas con la vida cotidiana

Variable de comparación

Relación guía–prueba: correspondencia entre los niveles de comprensión evidenciados en las guías ópticas y los niveles de conexión conceptual manifestados en la prueba.

4. Marco Conceptual

4.1. Fundamentos epistemológicos de la relación entre óptica y mecánica cuántica

La relación entre la óptica y la mecánica cuántica no es un vínculo secundario ni circunstancial dentro de la historia de la física, sino un punto de articulación epistemológica que permitió cuestionar y superar los límites de la física clásica; Brush (1986) y Bitbol (2007) muestran que las anomalías ópticas y los modelos ondulatorios fueron determinantes para la formulación inicial de la teoría cuántica. El estudio de la luz estuvo en el centro de algunas de las tensiones conceptuales más profundas del cambio de paradigma científico ocurrido a comienzos del siglo XX, razón por la cual diversos autores sostienen que la óptica constituye uno de los territorios fenomenológicos desde los cuales emergió la formulación inicial de la teoría cuántica. Esta relevancia no es solo histórica, sino también contemporánea: como señala Carmichael (2007), *“quantum fluctuations of light offer a modern perspective on wave/particle duality, revealing that neither picture alone is adequate”* (p. 183). Desde esta perspectiva, la óptica sigue siendo un campo privilegiado para evidenciar la insuficiencia de las explicaciones exclusivamente clásicas y para introducir, a nivel descriptivo, conceptos cuánticos fundamentales a partir de fenómenos accesibles en el aula.

Desde finales del siglo XIX, fenómenos como la radiación del cuerpo negro, el efecto fotoeléctrico y la estructura discreta de los espectros atómicos revelaron comportamientos que no podían ser explicados mediante los modelos clásicos. Tal como documentan Kragh (1999) y Jammer (1966), estas anomalías experimentales pusieron en evidencia los límites conceptuales y experienciales de la física clásica y se convirtieron en el punto de partida para el surgimiento de la teoría cuántica. Este proceso se enmarca en un cambio intelectual más amplio: como señala Friedman (2002), durante las grandes transiciones científicas *“we are subject to a far-reaching and radical transformation”* en nuestra forma de comprender los fundamentos de la física (p. 135) . Desde esta perspectiva, la óptica no solo fue un problema técnico, sino un espacio donde estas tensiones epistemológicas se hicieron visibles, y desde el cual emergieron nuevas maneras de pensar la naturaleza.

4.2 La óptica clásica como base fenomenológica

La óptica clásica constituye un campo de estudio especialmente adecuado para el análisis fenomenológico de la luz, debido a su accesibilidad experimental y a la posibilidad de observar una amplia variedad de comportamientos físicos sin recurrir a instrumentación compleja. Si bien su formulación teórica rigurosa implica el uso de herramientas matemáticas avanzadas propias del electromagnetismo, la radiación y la electrodinámica, muchos de sus fenómenos pueden ser explorados experimentalmente a partir de relaciones observables entre variables físicas, patrones de regularidad y dependencias angulares o espaciales. Esta característica permite que los estudiantes se aproximen de manera directa a la descripción de fenómenos ópticos relevantes, sin necesidad de abordar de forma explícita su formalismo matemático completo. Siendo así, la óptica un escenario idóneo para explorar comportamientos que, aun siendo explicables dentro de la física clásica, presentan resonancias conceptuales con nociones elementales de la mecánica cuántica.

Autores como Hecht (2017) y Born [andy](#) Wolf (1999) muestran que fenómenos tales como la interferencia, la polarización y la descomposición espectral de la luz no solo consolidaron el modelo ondulatorio durante los siglos XVIII y XIX, sino que también permitieron identificar límites en la interpretación clásica de la radiación. A su vez, Feynman (1985) subraya que el experimento de la doble rendija “contiene la esencia de la mecánica cuántica”, puesto que exhibe un comportamiento que desafía las explicaciones basadas exclusivamente en trayectorias definidas. En términos formales, Dirac (1968) afirma que “el principio de superposición constituye la base de la mecánica cuántica”, lo que permite reconocer que algunos comportamientos ondulatorios — particularmente los vinculados con superposición e interferencia— poseen una estructura matemática análoga a conceptos cuánticos fundamentales. Esta convergencia no implica equivalencia teórica, pero sí constituye un fundamento conceptual que justifica el uso de fenómenos ópticos como punto de partida para acercarse, de manera descriptiva, a ciertos aspectos de la física moderna.

En esta investigación se seleccionan tres fenómenos ópticos que cumplen este criterio: interferencia en doble rendija, polarización con tres polarizadores y espectros de emisión. Cada uno proporciona un caso de estudio que permite observar relaciones experimentales claras, dependencias de condiciones iniciales y comportamientos no triviales, favoreciendo la discusión sobre regularidades y límites de los modelos clásicos. A continuación, se describen brevemente estos fenómenos y su relevancia conceptual.

4.3 Interferencia

La interferencia constituye uno de los fenómenos más representativos de la óptica ondulatoria. En el experimento de la doble rendija, dos ondas coherentes se superponen generando un patrón alternado de franjas brillantes y oscuras, cuya distribución espacial depende directamente de la diferencia de fase entre ambas contribuciones, la cual se origina en las diferencias de recorrido que sigue la luz desde cada rendija hasta los distintos puntos de la pantalla, produciendo regiones donde las ondas se refuerzan y otras donde se cancelan. Este comportamiento, descrito en detalle en tratados clásicos como Hecht (2017), evidencia que la luz no puede concebirse como partículas independientes con trayectorias definidas, sino como una entidad susceptible de superposición.

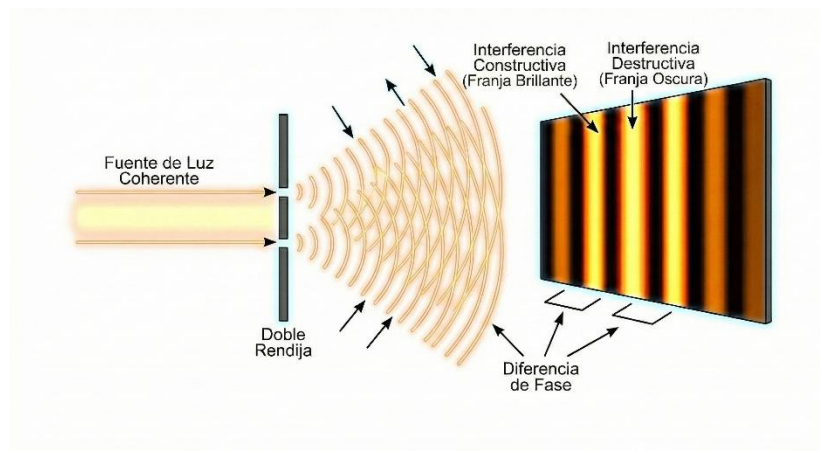


Figura 1: Representación del patrón de interferencia en el experimento de Young. Nota. Elaboración propia mediante el modelo de lenguaje a gran escala Gemini (Google, 2024).

Feynman (1985) enfatiza que este experimento es paradigmático porque muestra un comportamiento que, incluso al limitar la intensidad a un solo fotón por vez, sigue produciendo un patrón de interferencia acorde con el principio de superposición. Si bien el tratamiento cuántico formal excede el alcance escolar, la experiencia fenomenológica permite a los estudiantes identificar relaciones no clásicas entre causa y efecto, y reconocer que la luz exhibe comportamientos que desafían la intuición mecanicista.

4.4 Polarización

La polarización estudia la orientación de la vibración de la luz y su transformación mediante filtros polarizadores. El fenómeno se vuelve especialmente interesante cuando se introduce un

tercer polarizador entre dos filtros cruzados: aunque dos polarizadores perpendiculares bloquean completamente el paso de luz, la inserción de un polarizador intermedio permite recuperar parcialmente la intensidad.

French y Taylor (1978) explican que este comportamiento puede interpretarse mediante la descomposición vectorial del campo eléctrico, pero también presenta una analogía estructural con la noción de estados y mediciones en mecánica cuántica: el resultado depende del orden y la naturaleza de las operaciones realizadas sobre el sistema. Esta dependencia secuencial anticipa, de forma descriptiva, la idea cuántica de que la medición modifica el estado y afecta los resultados posteriores, un punto ya señalado por Dirac (1968) en su formulación sobre estados cuánticos.

4.5 Espectros y cuantización

La observación de espectros de emisión mediante un espectroscopio permite identificar que la luz emitida por ciertos elementos no es continua, sino que aparece distribuida en líneas bien definidas. Born y Wolf (1999) muestran que esta estructura discreta constituye una de las evidencias experimentales más importantes que llevaron a la introducción del cuanto de energía de Planck y, posteriormente, a la teoría del átomo de Bohr. Aunque el análisis detallado de la cuantización energética requiere formalismo matemático, la mera observación fenomenológica de los espectros introduce la idea de que la energía no se distribuye de manera arbitraria, sino en niveles específicos.

En el contexto educativo, este fenómeno permite iniciar discusiones sobre regularidades y discontinuidades en la naturaleza, vinculando una experiencia accesible con una de las motivaciones históricas de la física cuántica. La observación espectral constituye, así, un punto de partida perceptualmente cercano que facilita una conceptualización inicial de la cuantización sin necesidad de abstracción matemática.

4.6 Nociones elementales de mecánica cuántica vinculadas a la experiencia óptica

La mecánica cuántica constituye uno de los marcos conceptuales más influyentes de la física contemporánea. Su formulación implicó una transformación profunda en la manera de concebir los sistemas físicos, el papel de la medición y la naturaleza de la energía. Si bien el tratamiento formal de esta teoría exige herramientas matemáticas avanzadas, es posible identificar ciertos conceptos elementales cuya estructura fenomenológica puede explorarse a partir de

fenómenos ópticos accesibles en el aula. En este apartado se presentan cuatro nociones fundamentales —dualidad onda-partícula, superposición, cuantización y el papel de la medición— y su relación conceptual con los experimentos ópticos utilizados en esta investigación.

4.6.1 Dualidad onda-partícula

Uno de los principios más característicos de la mecánica cuántica es la dualidad onda-partícula. A comienzos del siglo XX, experimentos como el efecto fotoeléctrico motivaron la reinterpretación de la luz como un conjunto de cuantos de energía (Einstein, 1905), mientras que fenómenos como la interferencia y la difracción seguían exigiendo una descripción ondulatoria. Esta doble naturaleza desafía la lógica clásica, que presupone que un objeto es o bien onda o bien partícula, pero no ambas cosas simultáneamente.

El experimento de interferencia, tanto con ondas clásicas como con fuentes luminosas muy débiles; permite introducir esta tensión conceptual. Feynman (1985) destaca que, incluso realizando el experimento con fotones individuales, el patrón de interferencia resulta consistente con un comportamiento ondulatorio que no admite trayectorias definidas. Desde un nivel descriptivo, esto permite que los estudiantes reconozcan que ciertos fenómenos de la luz no se explican adecuadamente con un modelo corpuscular simple, preparando la transición hacia ideas más sofisticadas de la mecánica cuántica.

4.6.2 Superposición de estados

La superposición constituye uno de los principios estructurales de la teoría cuántica. Dirac (1968) afirma que “el principio de superposición constituye la base de la mecánica cuántica”, y que el estado físico de un sistema puede representarse como una combinación de otros estados posibles. Aunque este concepto posee formulación matemática en espacios vectoriales, su esencia puede explorarse fenomenológicamente mediante la interferencia óptica: dos aportes luminosos coherentes se combinan para producir un patrón que no corresponde a la suma de intensidades clásicas, sino a la superposición de amplitudes.

Este paralelismo no implica una equivalencia exacta entre ondas ópticas y estados cuánticos, pero sí ofrece una analogía estructural útil para introducir la idea de combinación no trivial de comportamientos. En el contexto escolar, esta analogía permite aproximar la noción de

superposición cuántica sin recurrir a su formulación vectorial, apoyándose en una experiencia observable y manipulable.

4.6.3 Cuantización de la energía

La cuantización constituye una de las nociones centrales de la física moderna y se refiere al carácter discreto que presenta la energía de los sistemas físicos cuando se analizan fuera del límite clásico. A partir del trabajo pionero de Planck (1901) y del análisis de Einstein (1905), se estableció que la energía no se intercambia de manera continua, sino que adopta valores definidos, cuya separación puede resultar perceptible o no dependiendo del régimen físico considerado. En sistemas donde el número de niveles energéticos es muy grande y la separación entre ellos es pequeña, la descripción clásica emerge como una aproximación válida; sin embargo, en sistemas atómicos y subatómicos, esta estructura discreta se manifiesta de forma explícita y observable.

Una de las evidencias experimentales más claras de esta discretización se encuentra en los espectros de emisión y absorción. La observación de dichos espectros mediante un espectroscopio escolar permite visualizar esta estructura energética, en tanto cada línea espectral corresponde a una transición específica entre niveles permitidos del sistema. Born y Wolf (1999) señalan que la aparición de líneas discretas en los espectros atómicos constituyó un argumento experimental decisivo en el desarrollo de los modelos cuánticos, al mostrar de manera directa las limitaciones de una descripción energética continua.

En el contexto educativo, el uso de un espectroscopio con fines formativos no persigue la medición precisa de longitudes de onda, sino la identificación cualitativa de regularidades espectrales que permitan a los estudiantes reconocer el carácter no continuo de la energía en determinados sistemas físicos. A diferencia de los espectrómetros, empleados en contextos de medición cuantitativa y análisis de alta precisión, el espectroscopio escolar cumple una función pedagógica al facilitar una aproximación fenomenológica a la noción de niveles energéticos, favoreciendo así la comprensión inicial de uno de los principios fundamentales de la mecánica cuántica.

4.6.4 Papel de la medición y modificación del estado

La mecánica cuántica introduce una noción radicalmente distinta respecto al proceso de medición, en la que medir un sistema no consiste en revelar un valor preexistente, sino en modificar

el estado físico del sistema. En este sentido, Heisenberg (1927) argumentó que físicas asociadas a un sistema cuántico no pueden poseer valores definidos de manera simultánea cuando corresponden a observables incompatibles, como es el caso de la posición y el momento, formalizando esta limitación en el principio de incertidumbre. Esta restricción no se aplica de manera general a cualquier par de magnitudes, sino únicamente a aquellas cuya medición mutua implica una alteración fundamental del estado del sistema, lo que introduce una ruptura con la noción clásica de medición como proceso pasivo.

El experimento con tres polarizadores constituye un ejemplo accesible que permite ilustrar esta idea de incompatibilidad y modificación del estado a través de un sistema óptico. French y Taylor (1978) explican que el resultado del experimento depende del orden en que se aplican los filtros, ya que la inserción de un polarizador intermedio no actúa simplemente como un elemento adicional, sino que prepara la luz en un nuevo estado de polarización, permitiendo que atraviese un polarizador que inicialmente bloqueaba toda la intensidad. Este comportamiento, aunque puede describirse mediante la descomposición vectorial clásica del campo eléctrico, presenta una analogía estructural clara con los procesos de medición cuántica, en los que el estado del sistema se ve modificado por la acción de operadores sucesivos. En este sentido, el experimento de los tres polarizadores guarda una similitud conceptual con el experimento de Stern–Gerlach, ampliamente discutido en textos como Sakurai, donde el resultado depende de la secuencia de mediciones realizadas y de la base en la que se prepara y proyecta el estado del sistema.

4.7 La transición conceptual entre óptica y mecánica cuántica

La transición conceptual entre la óptica clásica y la mecánica cuántica no se entiende aquí como un paso directo entre dos teorías formalmente equivalentes, sino como un proceso gradual de reorganización del significado atribuido a ciertos fenómenos físicos. Históricamente, esta transición se volvió necesaria cuando regularidades observadas en fenómenos ópticos, como la radiación del cuerpo negro, los espectros atómicos o la interferencia, pusieron de manifiesto limitaciones estructurales del paradigma clásico, al no poder ser explicadas de manera coherente dentro de sus marcos teóricos fundamentales (Kragh, 1999; Jammer, 1966). Kuhn (1978) caracteriza este tipo de situaciones como “anomalías persistentes”, en la medida en que los modelos clásicos, aun siendo operativos en ciertos dominios, resultaban conceptualmente insuficientes para dar cuenta de los resultados experimentales acumulados, favoreciendo así la emergencia de un

nuevo marco teórico; mientras que Bitbol (1996) subraya el papel de la óptica como uno de los territorios donde estas tensiones se hicieron más visibles.

Desde un punto de vista epistemológico, la óptica puede considerarse un territorio intermedio en el que coexisten descripciones clásicas operativas, como la teoría ondulatoria para la interferencia o los modelos vectoriales para la polarización, con fenómenos cuya interpretación completa requiere apelar a ideas propias de la física moderna. En este sentido, la interferencia en doble rendija y la polarización con tres filtros pueden describirse formalmente dentro del marco clásico, mientras que la estructura discreta de los espectros atómicos, aunque observable experimentalmente, no admite una explicación teórica coherente desde la mecánica clásica, como lo evidencia el carácter empírico de construcciones como la serie de Balmer. Estos fenómenos, considerados en conjunto, presentan una estructura fenomenológica que permite anticipar conceptos como la superposición, la incompatibilidad de estados y la cuantización de la energía, los cuales solo adquieren pleno significado dentro de la mecánica cuántica (Hecht, 2017; Born & Wolf, 1999). En este contexto, Feynman (1985) afirma que la doble rendija “contiene lo esencial de la mecánica cuántica”, en la medida en que exhibe un comportamiento que no admite una descripción simple en términos de trayectorias definidas.

La investigación reciente en educación en física refuerza esta lectura. Otero y Arlego (2023) muestran que es posible articular la enseñanza de la óptica en secundaria con una introducción cualitativa a ideas cuánticas, apoyándose en un marco conceptual unificado que conecta el principio de Fermat con la formulación de Feynman sobre trayectorias. De manera complementaria, Bitzenbauer (2021) el potencial de la óptica, en particular de la polarización y de la óptica cuántica con fotones; para apoyar la transición desde interpretaciones intuitivas y globales de la luz hacia una comprensión funcional más cercana a la física moderna, desarrollando instrumentos específicos para evaluar el conocimiento declarativo de los estudiantes en estos contextos.

Asimismo, Galvez (2019) y colaboradores han diseñado laboratorios de óptica cuántica educativos que muestran cómo dispositivos relativamente simples (divisores de haz, detectores de conteo de fotones, montajes de interferencia) pueden utilizarse para introducir conceptos cuánticos en cursos preuniversitarios.

En esta investigación, la transición conceptual entre óptica y mecánica cuántica se plantea en un sentido descriptivo y fenomenológico: no se pretende que los estudiantes dominen el formalismo de la teoría cuántica, sino explorar, a partir de la experiencia con fenómenos ópticos

escolares (interferencia, polarización y espectros), son capaces de construir explicaciones que empiecen a articular esos comportamientos con nociones elementales como dualidad onda-partícula, superposición, cuantización de la energía y rol de la medición. El puente no se entiende como una derivación lógica entre teorías, sino como una posible ruta de comprensión en el aula, en la que la óptica actúa como mediadora entre la experiencia sensible y los conceptos de la física moderna. Esta idea orienta tanto el diseño de las prácticas experimentales como la interpretación de las respuestas obtenidas en las guías y en la prueba aplicada al final del proceso.

4.8. Estudios previos y perspectivas contemporáneas en la educación científica

En los últimos años, múltiples investigaciones han explorado la posibilidad de aproximar conceptos de mecánica cuántica en la educación media mediante el uso de fenómenos ópticos, tanto clásicos como cuánticos. Trabajos como los de Otero y Arlego (2023), Westerberg y Bennett (2023) y Bulut Ates y Aktamis (2024) evidencian que la óptica ofrece un marco especialmente adecuado para introducir ideas cuánticas de manera progresiva y contextualizada. Esta tendencia surge como respuesta a la necesidad de actualizar los currículos escolares e incluir contenidos de física moderna que permitan a los estudiantes comprender tecnologías actuales como: láseres, sensores ópticos, comunicaciones cuánticas o semiconductores; cuya base conceptual está anclada en la mecánica cuántica. A diferencia de enfoques centrados exclusivamente en el formalismo matemático, estas propuestas adoptan perspectivas fenomenológicas y experimentales que permiten introducir ideas cuánticas sin recurrir a derivaciones avanzadas.

Uno de los aportes más recientes es el trabajo de Otero y Arlego (2023), quienes proponen una secuencia didáctica que vincula la óptica geométrica y ondulatoria con principios cuánticos a partir del principio de mínima acción. Su estudio muestra que los estudiantes pueden establecer conexiones inferenciales entre fenómenos ópticos familiares (refracción, interferencia, difracción) y ciertas interpretaciones de la mecánica cuántica cuando se abordan desde un marco conceptual unificado. Esta perspectiva fenomenológica coincide con la motivación central de la presente investigación: emplear la óptica como punto de partida para introducir formas de pensamiento compatibles con la física moderna.

En una línea más cercana al campo de la óptica cuántica educativa, Bitzenbauer, Kitzinger y Pittrof (2021) muestran que el uso de experimentos basados en fotones, divisores de haz y polarización cuántica facilita la comprensión de la dualidad onda-partícula en estudiantes de

secundaria. Sus resultados evidencian mejoras significativas en el razonamiento conceptual cuando se emplean sistemas ópticos accesibles como soporte experimental. Del mismo modo, la investigación de Tóth et al. (2025) demuestra que estudiantes de contextos escolares pueden razonar adecuadamente sobre aleatoriedad cuántica y estadísticas de detección en experimentos de fotones individuales, siempre que se utilicen dispositivos ópticos que permitan visualizar resultados de manera directa. Ambos estudios respaldan la idea de que la óptica, en cualquiera de sus variantes, constituye un terreno fértil para introducir ideas cuánticas mediante experiencias empíricas.

A nivel teórico y epistemológico, diversos trabajos recientes han insistido en la importancia de la analogía estructural entre las ondas ópticas y ciertos aspectos del formalismo cuántico. Por ejemplo, French y Taylor (1978), en un texto cuya vigencia se mantiene en la educación moderna, destacan que la polarización luminosa constituye una plataforma adecuada para comprender ideas como incompatibilidad de estados y secuencialidad de mediciones, conceptos que Dirac (1968) define como centrales en la formulación de la mecánica cuántica. Más recientemente, los estudios de laboratorios de óptica cuántica educativa (p. ej., Schlawin et al., 2019; dados en ResearchGate y revistas indexadas) documentan que introducir notación de estados y dispositivos ópticos simples mejora la interpretación conceptual de fenómenos cuánticos.

Finalmente, en el contexto latinoamericano, el trabajo de García (2024) señala la pertinencia y necesidad de incorporar contenidos de física moderna en la educación media, especialmente en países donde los currículos aún están fuertemente centrados en la física clásica. El autor destaca que la óptica constituye uno de los pocos campos experimentales accesibles que pueden servir como puente entre el conocimiento escolar y la comprensión de tecnologías actuales basadas en principios cuánticos. Este enfoque coincide plenamente con el propósito de esta investigación, que busca explorar si los estudiantes pueden establecer conexiones iniciales entre sus experiencias ópticas y conceptos elementales de la mecánica cuántica.

En conjunto, estas investigaciones muestran que existe una tendencia consolidada y contemporánea a nivel internacional que respalda el uso de la óptica como vía de acceso conceptual hacia la mecánica cuántica. Asimismo, la literatura evidencia que este enfoque no solo es viable, sino pedagógicamente efectivo cuando se enmarca en experiencias experimentales accesibles y orientadas a la interpretación fenomenológica. La presente investigación se inscribe dentro de esta línea emergente, adaptándola al contexto escolar colombiano mediante la integración de prácticas

ópticas simples y una evaluación conceptual posterior que permita identificar posibles conexiones con nociones cuánticas elementales.

5. Metodología

La metodología diseñada e implementada en este estudio tiene como propósito central analizar si la experimentación en óptica favorece las relaciones conceptuales de los fundamentos de la mecánica cuántica en estudiantes de grado undécimo de la Institución Educativa Nuestra Señora del Rosario. Este planteamiento se sustenta en un marco fenomenológico, histórico-epistemológico y pedagógico, que orienta el modo en que se estructuran las experiencias, se interpretan los datos y se organizan las conexiones conceptuales. Asimismo, la propuesta metodológica se alinea con la continuidad curricular y con los principios éticos de igualdad de oportunidades formativas en educación básica y media, en concordancia con los Estándares Básicos de Competencias y los Derechos Básicos de Aprendizaje (DBA).

El desarrollo de esta propuesta se enmarca en un enfoque cuantitativo descriptivo, orientado a caracterizar patrones de desempeño y niveles de comprensión conceptual en estudiantes de educación media, complementado con un análisis cualitativo categorial destinado a examinar la calidad y coherencia de las explicaciones emitidas por los estudiantes. Este enfoque resulta pertinente cuando el objetivo de la investigación no es establecer relaciones causales ni medir efectos de intervención en términos comparativos, sino describir y analizar cómo se manifiestan determinados procesos de comprensión conceptual en un contexto educativo real, tal como lo plantean Hernández-Sampieri, Fernández-Collado y Baptista (2014) para estudios de carácter descriptivo con componentes mixtos de análisis.

Esta integración metodológica se desarrolla bajo un diseño descriptivo transeccional, sin la aplicación de pruebas diagnósticas previas ni la segmentación del estudiantado en grupos de control. Esta decisión responde, en primer lugar, a consideraciones éticas, en la medida en que se busca garantizar un acceso equitativo a las experiencias experimentales propuestas, evitando excluir a parte del grupo de una intervención con potencial formativo. En segundo lugar, responde a razones curriculares, ya que la implementación de las actividades se articula de manera natural con la programación regular de la asignatura de física en grado 11.º, sin introducir alteraciones artificiales en el desarrollo del curso. Desde esta perspectiva, el diseño metodológico prioriza la observación y el análisis de los procesos de comprensión que emergen tras la experiencia experimental, más que la comparación entre condiciones controladas, en consonancia con los objetivos formativos y exploratorios del estudio.

La metodología se organiza en torno a objetivos específicos, que estructuran cada fase del proceso investigativo. Estos objetivos determinan las acciones, los instrumentos, el registro de datos, los procedimientos y los sistemas de análisis utilizados, proporcionando los datos para explorar, cómo los fenómenos ópticos pueden actuar como puente conceptual hacia la mecánica cuántica. Para brindar mayor claridad sobre este trayecto y ofrecer una visión general antes de detallar los procedimientos específicos, la Figura [2] ilustra las cuatro fases secuenciales que componen la investigación: inicia con el diseño de la propuesta pedagógica, continúa con su implementación en el aula, avanza hacia la recolección sistemática de datos y culmina con el análisis integral de los resultados.

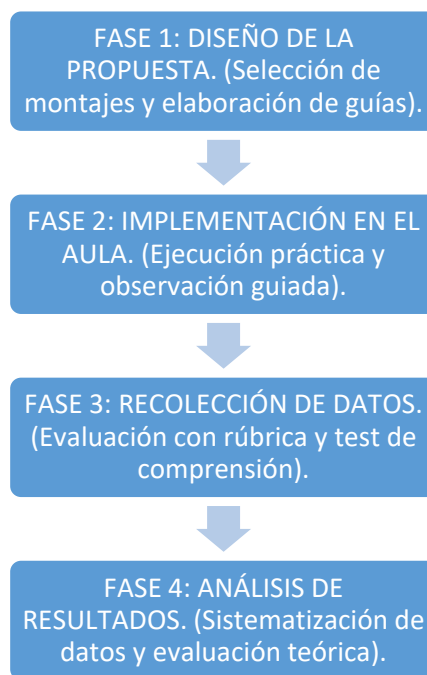


Figura 2 Diagrama de flujo del trayecto metodológico de la investigación.

5.1 Seleccionar montajes experimentales de óptica clásica como puente pedagógico hacia conceptos fundamentales de la mecánica cuántica

Se realizó una selección y montaje de experimentos de óptica clásica cuya estructura fenomenológica y relevancia histórica (conceptual) permiten establecer un puente pedagógico hacia los conceptos de la mecánica cuántica: dualidad onda-partícula, cuantización de la energía y superposición. La selección de dichos experimentos se sustentó en tres dimensiones complementarias:

5.1.1. Sustento epistemológico

Históricamente, varios fenómenos ópticos desempeñaron un papel crucial en la transición de la física clásica a la física moderna. Experimentos como la interferencia en la doble rendija, la polarización de la luz y la observación de espectros discretos fueron determinantes para poner en evidencia los límites del modelo clásico y para formular hipótesis que hoy constituyen fundamentos de la teoría cuántica.

Desde esta perspectiva:

1. La interferencia permitió establecer el carácter ondulatorio de la luz y, posteriormente, puso de manifiesto la necesidad de describir estados de superposición, al mostrar que el resultado observable depende de la coherencia y de la combinación de amplitudes, más que de trayectorias individuales bien definidas.
2. La polarización evidenció que el resultado de una medición depende del estado en el que se prepara el sistema y del orden en que se realizan las operaciones, introduciendo la noción de incompatibilidad entre descripciones simultáneas. En este sentido, el experimento con polarizadores sucesivos presenta una analogía conceptual directa con el experimento de Stern–Gerlach, en el que la medición de una componente del espín prepara el sistema en un nuevo estado y condiciona los resultados de mediciones posteriores.
3. Los espectros atómicos discretos mostraron que la energía en los sistemas atómicos no se distribuye de manera continua, sino en valores bien definidos. Históricamente, la explicación de la posición de las líneas espectrales requirió la introducción del modelo de Bohr y de la cuantización de los niveles energéticos del átomo, marcando una ruptura con las descripciones clásicas y estableciendo una base esencial para el desarrollo de la mecánica cuántica.

Seleccionar estos montajes significa recuperar los fenómenos que históricamente hicieron posible pensar la cuántica, proporcionando una base epistémica coherente con el marco teórico del estudio.

5.1.2. Sustento fenomenológico y didáctico

Desde la perspectiva fenomenológica adoptada en esta investigación, los montajes seleccionados cumplen la función de hacer visible un comportamiento físico que desafía la

intuición clásica. La observación estructurada del fenómeno, acompañada de preguntas de predicción, comparación y análisis cualitativo, permite al estudiante identificar similitudes y diferencias conceptuales que facilitan el tránsito hacia explicaciones cuánticas iniciales.

De igual manera, estos experimentos se ajustan a criterios didácticos esenciales:

- Accesibilidad escolar: pueden implementarse con materiales disponibles o de fácil construcción (como un espectroscopio con CD y tubo de cartón).
- Seguridad: requieren láseres de baja potencia y materiales no peligrosos.
- Relevancia curricular: forman parte de los contenidos de óptica clásica definidos para grado 11° y se alinean con Estándares y DBA.
- Potencial para el conflicto cognitivo: su comportamiento observable contradice modelos intuitivos simplistas, activando procesos de reorganización conceptual.

5.1.3. Montajes seleccionados y su propósito cuántico

A partir de los criterios anteriores, se seleccionaron tres experimentos centrales, dado a que pueden ser replicables en el (anexo 2) se encuentran las especificaciones técnicas de estos montajes, como apéndice de la guía experimental implementada (Anexo 1):

- a) Interferencia en doble rendija (ver figura 2)

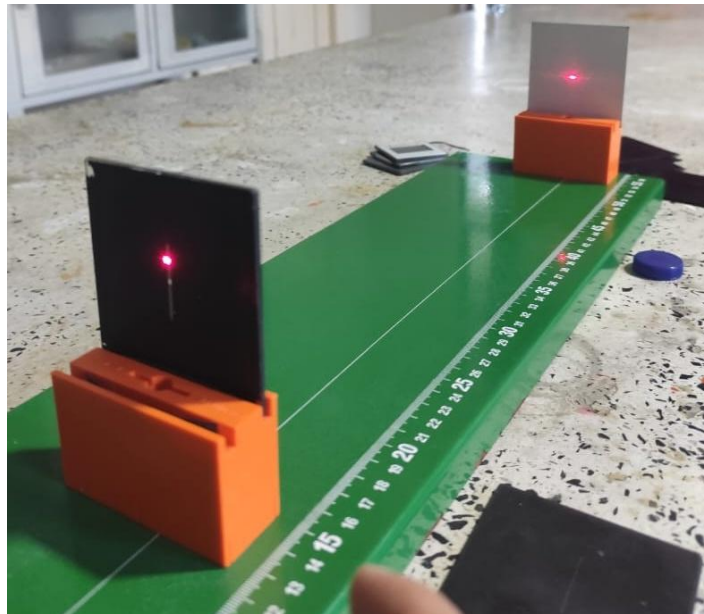


Figura 3: Interferencia en doble rendija, fuente laser apuntador común potencia <10 mW placa con doble rendija y pantalla.

Propósito conceptual: Introducir la noción de superposición y la dependencia de los resultados con el acto de observar.

Justificación: Es el fenómeno más robusto para mostrar que la luz (y la materia) no se comporta como una simple partícula.

Nota: Este montaje se realiza con materiales del laboratorio estudiantil, de la institución educativa donde se realizó la implementación de la investigación.

b) Polarización y experimento de tres polarizadores (ver figura 3)



Figura 4: Fuente de luz amarilla intensidad 589nm, tres filtros de polarizador y una pantalla

- Propósito conceptual: Aproximar las ideas de incompatibilidad de estados, secuencialidad de mediciones y no conmutatividad en un nivel intuitivo.
- Justificación: La reaparición de luz entre polarizadores cruzados constituye un ejemplo accesible de resultados no explicables por el pensamiento clásico.

Nota: Este montaje se realiza con materiales del laboratorio estudiantil, de la institución educativa donde se realizó la implementación de la investigación.

c) Espectros con espectroscopio casero (ver figura 4)



Figura 5: Espectroscopio casero: Tubo papel de cocina, CD y cinta aislante negra.

- Propósito conceptual: Introducir la cuantización de la energía y la relación entre estructura espectral y niveles de energía.
- Justificación: La construcción del dispositivo por el estudiante fortalece habilidades STEM y permite observar patrones discretos.

Nota: Este montaje se realizó con materiales externos al laboratorio de la institución, y fueron elaborados por cada uno de los estudiantes (Anexo 8).

5.2. Implementar la secuencia de prácticas experimentales con los estudiantes

El segundo objetivo específico se orientó a poner en práctica los montajes experimentales seleccionados, articulándolos con el desarrollo curricular regular de grado 11° y promoviendo la observación, el análisis cualitativo y la reflexión conceptual por parte de los estudiantes. La implementación se diseñó con base en un enfoque STEM de indagación guiada, (Anexo 1) que concibe la actividad experimental como un espacio donde el estudiante construye significado a partir de la manipulación directa, la comparación de situaciones y la argumentación fundamentada en evidencia.

5.2.1. Justificación pedagógica de la implementación

La fase de implementación cumple un papel central en la metodología porque permite que los estudiantes:

1. Observen fenómenos ópticos, clave en condiciones controladas y reproducibles en un laboratorio.
2. Desarrollen habilidades científicas relacionadas con la predicción, el registro, el análisis descriptivo y la argumentación de...
3. Construyan hipótesis y explicaciones propias, generando discrepancia con sus modelos intuitivos clásicos.
4. Participen en actividades formativas de experiencia, alineadas con los Estándares Básicos de Competencias y los DBA.
5. Establezcan relaciones conceptuales entre la experiencia visible y los conceptos cuánticos que serán evaluados posteriormente.

La implementación constituye, por tanto, el puente formativo entre la fenomenología óptica y la conceptualización cuántica.

5.2.2. Procedimiento de implementación

La secuencia se desarrolló en tres fases operativas, alineadas con la estructura de las guías de laboratorio:

5.2.2.1 Fase de exploración fenomenológica inicial

Los estudiantes observaron cada fenómeno antes de recibir explicaciones formales. Esta fase incluyó: observación libre y guiada, preguntas de predicción, comparación entre diferentes configuraciones, primeros registros cualitativos.

Esta aproximación busca activar modelos previos y generar conflictos cognitivos necesarios para el tránsito conceptual.

5.2.2.2 Fase de práctica experimental guiada

Esta fase se desarrolló utilizando las guías de laboratorio diseñadas en el Objetivo 1 (ver anexo..).

Cada guía estructuró de manera progresiva la práctica experimental, orientando al estudiante en el montaje del experimento, el registro organizado de las observaciones y la exploración guiada de los fenómenos observados. A través de preguntas orientadoras y consignas específicas, se promovió la evaluación visual de patrones, como franjas de interferencia, variaciones de intensidad o estructuras espectrales; así como la manipulación controlada de variables experimentales tales como ángulos, rendijas, distancia y fuente de luz. Este proceso

estuvo acompañado por un análisis cualitativo del comportamiento de la luz, realizado sin recurrir a formulaciones matemáticas explícitas y con el apoyo permanente del docente.

La práctica experimental se llevó a cabo en seis sesiones de clase, con acompañamiento docente y espacios de trabajo colaborativo.

5.2.2.3 Fase de formalización descriptiva y discusión guiada

Al finalizar cada práctica, se realizó una discusión estructurada, orientada a sintetizar los hallazgos observados, comparar los distintos montajes, responder preguntas críticas de la guía, y anticipar conexiones con ideas cuánticas fundamentales.

Esta fase no introduce formalismos matemáticos, sino que se enfocó en interpretaciones descriptivas, consistentes con la fenomenología observada, preparando el terreno conceptual para la prueba de comprensión aplicado posteriormente.

5.2.3. Consideraciones éticas y de equidad en la implementación

La implementación involucró a todos los estudiantes de los grupos 11° C1 y C2, garantizando: acceso igualitario a las experiencias experimentales, participación sin exclusiones, uso de materiales seguros y accesibles, pertinencia curricular y continuidad académica.

5.2.4. Guía de laboratorio con los tres montajes seleccionados

El cumplimiento del Objetivo Específico 2 se materializó en la elaboración de una guía de laboratorio unificado (Anexo1), que integra de manera estructurada los tres montajes experimentales seleccionados: (a) la doble rendija con láser, (b) el experimento de tres polarizadores, realizados con kits básicos de óptica propiedad de la institución donde se implementa, y (c) el espectroscopio casero realizado por los estudiantes con un CD/DVD, tubos de cartón y cinta adhesiva. Esta guía constituye el producto metodológico central del objetivo, pues reúne en un solo documento la fundamentación óptica, los procedimientos experimentales, los materiales accesibles, las listas de verificación, los espacios de registro, las preguntas de análisis y la rúbrica de evaluación correspondiente.

La guía se diseñó bajo criterios fenomenológicos y pedagógicos coherentes con el propósito de la investigación: facilitar que los estudiantes observen, describan, comparen y analicen patrones ópticos que históricamente motivaron el surgimiento de conceptos cuánticos fundamentales. Su estructura incorpora: montajes detallados que permiten obtener patrones visibles y reproducibles;

preguntas orientadoras que conducen al conflicto cognitivo y a la interpretación cualitativa; variaciones del montaje que revelan dependencias no triviales (por ejemplo, tapar una rendija, cruzar polarizadores, cambiar la fuente de luz); registros sistemáticos que documentan el proceso de observación; criterios de evaluación basados en el grado de comprensión óptica manifestado en los análisis.

Además, la guía es un instrumento (Anexo 1) que articula la secuencia teórico–experimental con el enfoque STEM adoptado en el estudio, promoviendo la exploración autónoma, la manipulación de dispositivos reales, la construcción de prototipos simples y la argumentación con base en evidencias.

5.2.4. Rúbrica para evaluar la comprensión y el desempeño experimental en las guías de laboratorio

El resultado central del Objetivo Específico 2 es la construcción y aplicación de una rúbrica de evaluación (Tabla 1) diseñada para cuantificar el nivel de comprensión óptica logrado por los estudiantes durante la ejecución de los tres montajes experimentales. Esta rúbrica constituye el instrumento metodológico clave de la fase de implementación, ya que permite transformar las observaciones cualitativas del trabajo experimental en evidencia evaluable, comparable y analíticamente útil.

La rúbrica se fundamenta en un principio esencial de esta investigación: no basta con que el estudiante ejecute el experimento; es el pensamiento que acompaña la acción lo que evidencia comprensión fenomenológica. En coherencia con el enfoque STEM de indagación, se adoptó una escala de cuatro niveles (0–3) que permite distinguir entre la simple realización mecánica de un procedimiento y la construcción de significado científico:

- 0 = Nivel Bajo: No realizó, no comprendió o no analizó.
- 1 = Nivel Básico: Realizó la acción y describió de manera simple.
- 2 = Nivel Alto: Realizó la acción, describió y analizó parcialmente.
- 3 = Nivel Superior: Realizó la acción e incorporó análisis, inferencias y pensamiento propio.

Esta estructura permite registrar con precisión (Tabla 2) tanto la ejecución técnica como la calidad del razonamiento científico expresado por los estudiantes en las guías. De este modo, se busca una evaluación coherente con la perspectiva fenomenológica de los estudiantes de manera

colectiva buscando construcción de conocimiento colaborativo, Roschelle & Teasley (1995) con el propósito de tener criterios objetivos para hacer un correcto análisis descriptivo y una toma de datos mucho más objetiva e imparcial.

La siguiente tabla resume la rúbrica aplicada:

Tabla 1: Rúbrica de evaluación para cuantificar las guías de laboratorio

Dimensión evaluada	0 = Nivel Bajo (No realizó / No comprendió / No analizó)	1 = Nivel Básico (Realiza / Describe)	2 = Nivel Alto (Realiza / Describe / Analiza simple)	3 = Nivel Superior (Realiza / Analiza-Infiere / Pensamiento propio)
1.Montaje experimental	No realiza el montaje o lo hace incorrectamente; requiere asistencia constante; no comprende la función del montaje.	Realiza el montaje siguiendo instrucciones básicas; ubica los elementos sin verificación ni análisis.	Realiza el montaje adecuadamente; verifica alineaciones básicas; reconoce la función de algunos componentes.	Realiza el montaje con precisión; verifica alineaciones; comprende la función de todos los componentes y propone ajustes pertinentes.
2.Registro de observaciones	No registra observaciones, o estas son irrelevantes, incompletas o desconectadas del fenómeno.	Registra lo observado de manera literal; identifica diferencias evidentes sin analizarlas.	Registra observaciones claras; identifica algunos patrones o variaciones simples.	Registra observaciones detalladas y comparativas; identifica patrones relevantes y los explica con claridad.
3.Interpretación cualitativa del fenómeno	No interpreta lo observado; respuestas vagas o incorrectas; no relaciona variables.	Describe lo que ocurre sin explicar causas; no establece relaciones conceptuales.	Interpreta parcialmente el fenómeno; reconoce relaciones simples causa–efecto.	Explica coherentemente el comportamiento observado; establece relaciones causa–efecto; integra conceptos trabajados.
4.Variación de parámetros	No realiza variaciones o no reconoce cambios cuando modifica parámetros.	Modifica parámetros y describe solo cambios superficiales.	Reconoce algunos efectos de las variaciones; explica parcialmente los cambios observados.	Explica cómo y por qué cambian los patrones al modificar parámetros (distancia, ángulo, rendijas, fuente); integra relaciones conceptuales.
5.Razonamiento científico (pensamiento propio)	No formula ideas propias, hipótesis ni conclusiones; no hay evidencia de pensamiento científico.	Expresa ideas básicas o conclusiones obvias sin argumentación.	Formula conclusiones simples; relaciona parcialmente observaciones con conceptos.	Construye explicaciones propias; propone hipótesis razonadas; relaciona observaciones con conceptos de forma fundamentada.

5.2.4.1 Justificación del uso de la rúbrica como resultado del objetivo

La rúbrica diseñada constituye el resultado metodológico directo del Objetivo Específico 2 y tiene como propósito central operacionalizar la comprensión fenomenológica de los estudiantes frente a los comportamientos de la luz (interferencia, polarización y espectros). Para ello, el instrumento traduce acciones procedimentales y cognitivas en criterios claros y cuantificables mediante una escala numérica (de 0 a 3). Al aplicar esta valoración durante las experiencias de la Doble Rendija (DR), los Tres Polarizadores (3P) y el Espectroscopio Casero (EC), se genera un registro ordenado que configura el perfil de comprensión de los estudiantes (Tabla 2). Esta sistematización aporta los datos necesarios para analizar con precisión el cumplimiento del Objetivo Específico 3 y reconocer las transiciones conceptuales hacia la mecánica cuántica planteadas en el Objetivo Específico 4.

Asimismo, la estructura de la rúbrica resulta fundamental para establecer grupos de comparación. Al desagregar los resultados, se posibilita un análisis diferenciado entre el grupo C1, perteneciente a la especialidad técnica en Recursos Humanos, y el grupo C2, cuya especialidad es Sistemas Teleinformáticas. Esta distinción permite observar y contrastar cómo el perfil de formación técnica previa incide en el razonamiento científico, la interpretación cualitativa del fenómeno y la respuesta a la variación de parámetros durante el trabajo colaborativo. De este modo, se obtiene una lectura más fina de los patrones de desempeño de cada salón, facilitando la comprensión de cómo interactúan estas dimensiones en el aprendizaje.

Finalmente, para garantizar la consistencia, objetividad y rigurosidad en la recolección de los datos, la aplicación de la rúbrica y la conducción de la totalidad de las sesiones experimentales fueron realizadas exclusivamente por la investigadora y docente titular de la asignatura, Laura Isabel León Díaz. Centralizar la observación y la evaluación en una única profesional asegura la uniformidad en la aplicación de los criterios y mitiga los posibles sesgos de valoración que suelen surgir al emplear múltiples observadores.

Tabla 2: Registro de datos guía

5.3. Aplicación de la prueba

Para la aplicación de la prueba se elaboró un formato unificado que se aplicó de forma individual a los estudiantes con el propósito de obtener una valoración autónoma de su comprensión conceptual (Anexo 3). Antes de la aplicación, se definieron los argumentos que estructuran el instrumento: identificar si el estudiante comprende los principios observados experimentalmente, si puede relacionarlos con explicaciones cualitativas coherentes y si reconoce conexiones básicas con ideas iniciales de la mecánica cuántica, en consonancia con Pozo y Gómez Crespo (1998), quienes señalan que la comprensión científica implica interpretar la experiencia y construir explicaciones que articulen los conceptos implicado

+

5.3.1. Fundamentación del instrumento

El instrumento se fundamenta en la necesidad de valorar la comprensión conceptual de manera individual, complementando lo observado en las guías experimentales. Su diseño integra preguntas de reconocimiento conceptual y preguntas abiertas que permiten explorar la interpretación autónoma del estudiante, siguiendo principios de evaluación formativa en ciencias. La prueba fue diseñada con una estructura mixta que integra preguntas de selección múltiple (orientadas a evaluar reconocimiento conceptual y comprensión de relaciones causales simples) y preguntas abiertas, destinadas a explorar la calidad del razonamiento propio, la interpretación del fenómeno y la capacidad de argumentar a partir de la experiencia experimental. De este modo, la prueba ofrece evidencia directa sobre cómo cada estudiante comprende los fenómenos ópticos trabajados y sobre la presencia de conexiones iniciales con ideas cuánticas, constituyéndose en un aporte central para el análisis del objetivo específico 3.

5.3.2. Estructura de la prueba de Comprensión

La prueba Anexo 3 está compuesta por 16 ítems, los cuales se organizan en cuatro dimensiones: interferencia y papel de la observación (dualidad, superposición, medición), polarización e incompatibilidad de estados, espectros y cuantización de energía y perspectiva cuántica global y razonamiento probabilístico. El instrumento combina dos tipos de preguntas: Ítems cerrados, que permiten cuantificar aciertos conceptuales. Ítems abiertos, que revelan la calidad del razonamiento y la estructura conceptual del estudian. Las preguntas abiertas permiten evaluar aspectos de mayor complejidad cognitiva, tales como la argumentación, la capacidad explicativa, la integración

conceptual y la relación entre fenomenología observada y modelos teóricos. Su análisis resulta fundamental para valorar hasta qué punto los estudiantes desarrollaron comprensiones significativas que trascienden el reconocimiento superficial de patrones.

5.3.3 Sistema de puntuación

La tabulación de la prueba constituye un componente central del Objetivo Específico 3, ya que permite transformar las respuestas de los estudiantes en valores numéricos sistemáticos que facilitan la evaluación del grado de articulación entre los fenómenos ópticos trabajados y las nociones elementales de la mecánica cuántica. Este proceso incorpora procedimientos cuantitativos (para ítems cerrados) y categoriales (para ítems abiertos), integrados en una estructura analítica coherente con el enfoque fenomenológico y con la lógica evaluativa del estudio.

5.3.3.1 Organización de la matriz de datos

Para el análisis se construyó una matriz digital en hoja de cálculo que organiza de manera sistemática los resultados obtenidos en la prueba individual. La matriz se estructuró por grupos, curso y estudiantes, registrando para cada ítem de la prueba (P1–P16) el nivel alcanzado según el tipo de pregunta. (Tabla 3) Asimismo, se agruparon las preguntas de acuerdo con las cuatro partes del instrumento, permitiendo visualizar con claridad el desempeño por secciones conceptuales. Cada bloque incluye: puntajes por pregunta, puntajes por estudiante y la sumatoria por grupo, lo que facilita comparar tendencias internas, identificar variaciones entre grupos y calcular las medidas estadísticas necesarias para el análisis posterior. Esta organización garantiza trazabilidad del proceso y permite relacionar los resultados obtenidos en la prueba con los desempeños observados en las guías experimentales

Tabla 3: Registro de datos prueba

Curso C1 o C2		Parte I					Parte II				Parte III			Parte IV			
Test	Estudiante	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16
Grupo 1	1																
	2																
	3																
	4																
	Puntos por pregunta	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Puntos Parte	0					0				0			0			

5.3.3.2 Codificación de ítems cerrados

Los ítems cerrados se calificaron mediante una escala dicotómica: 1 punto, si la respuesta es correcta; 0 puntos, si es incorrecta. La decisión de emplear esta escala responde a la naturaleza conceptual de la prueba: estos ítems verifican si el estudiante identifica correctamente la implicación cuántica más básica asociada al fenómeno óptico descrito.

5.3.3.3 Codificación de ítems abiertos mediante rúbrica categorial

Los ítems abiertos fueron evaluados utilizando una rúbrica diseñada para identificar la calidad de la articulación conceptual lograda por el estudiante (tabla 4). Cada respuesta se codificó en uno de los siguientes niveles:

Tabla 4: codificación de conceptos

Nivel	Valor	Descripción
0 Sin conexión	0	La respuesta es incorrecta, incoherente o se limita a una descripción puramente clásica, sin establecer relación con el fenómeno cuántico asociado.
1 Conexión parcial	1	El estudiante incorpora elementos tanto ópticos como cuánticos, pero de forma fragmentada, incompleta o sin integración conceptual clara.
2 Conexión consistente	2	El estudiante establece relaciones claras y coherentes entre el fenómeno óptico observado y la noción cuántica correspondiente, mostrando comprensión inicial de la transición conceptual.
3 Conexión avanzada	3	El estudiante presenta una explicación sólida, integrando adecuadamente los conceptos ópticos y cuánticos; formula inferencias, justifica el fenómeno y evidencia una comprensión más profunda de la relación entre ambos marcos teóricos.

Esta rúbrica permite evaluar de forma diferenciada no solo si el estudiante responde, sino cómo piensa.

5.3.3.4 Agrupación de resultados por dimensiones conceptuales

Para mantener coherencia conceptual, los ítems de la prueba se agruparon en cuatro dimensiones como se ve en la (tabla 3) interferencia y papel de la observación, polarización e incompatibilidad de estados, espectros y cuantización de energía, visión cuántica global y razonamiento probabilístico

Para cada dimensión se calculó un puntaje parcial, lo cual permitió identificar áreas de mayor y menor articulación conceptual dentro del grupo.

5.3.3.5 Cálculo del puntaje total de la prueba

Para cada estudiante se registraron los niveles obtenidos en los 16 ítems de la prueba, asignados según la rúbrica de evaluación (0, 1, 2 o 3). El puntaje total corresponde a la suma directa de estos niveles, lo que permite observar diferencias individuales, comparar desempeños dentro de cada grupo y analizar variaciones generales entre los salones C1 y C2. Este procedimiento proporciona una medida cuantitativa sencilla y transparente, coherente con el enfoque descriptivo adoptado en la investigación.

Las preguntas abiertas fueron analizadas mediante una rúbrica específica diseñada para identificar el grado de articulación conceptual logrado por el estudiante. Cada respuesta se clasificó en uno de cuatro niveles (0–3), que representan desde la ausencia de conexión conceptual hasta explicaciones integradas entre el fenómeno óptico observado y las nociones cuánticas asociadas. Estos niveles no se consolidaron en un índice único; por el contrario, se examinaron como categorías de desempeño, lo que permitió identificar patrones de pensamiento, niveles de explicación y tendencias en la transición conceptual óptica–cuántica. De este modo, el análisis cualitativo complementa el puntaje total de la prueba y ofrece una visión más completa de la comprensión conceptual individual.

El proceso de tabulación se realizó mediante revisión sistemática para garantizar la confiabilidad de los datos. Para ello se verificaron de la consistencia interna de los valores asignados en cada ítem, corrección de omisiones o registros incompletos, revisión cruzada de los niveles otorgados a las respuestas abiertas en los casos que lo ameritaban, y confirmación de la correcta organización de la prueba según sus cuatro partes temáticas. Estos procedimientos aseguraron que los datos almacenados en la matriz digital reflejaran fielmente las respuestas de los estudiantes y proporcionaran una base sólida para los análisis desarrollados en los capítulos posteriores.

5.4. Comparar la comprensión registrada en las guías experimentales con las respuestas de la prueba

El cuarto objetivo específico busca analizar la relación entre la comprensión de los fenómenos ópticos alcanzada en las guías experimentales y las ideas cuánticas iniciales expresadas

en la prueba individual. Se pretende identificar si los estudiantes que interpretan adecuadamente la interferencia, la polarización y los espectros muestran también capacidad para vincular estas experiencias con nociones cuánticas básicas como la superposición, la incompatibilidad de estados o la cuantización. Explorar esta correspondencia permite valorar en qué medida la experimentación óptica favorece la formación de explicaciones que trascienden el marco clásico y se aproximan a un razonamiento cuántico inicial.

5.4.1. Fundamentación del análisis comparativo

El análisis comparativo entre la comprensión óptica expresada en las guías experimentales y las conexiones cuánticas iniciales manifestadas en la prueba se fundamenta en la idea de que la construcción del conocimiento científico escolar implica transitar progresivamente desde modelos explicativos basados en la experiencia hacia marcos conceptuales más abstractos. Desde la didáctica de las ciencias se reconoce que los estudiantes reorganizan sus interpretaciones a partir de lo ya comprendido, elaborando nuevas explicaciones que integran distintos niveles de representación (Pozo & Gómez Crespo, 1998). En esta perspectiva, comparar ambas formas de comprensión permite identificar cómo las experiencias ópticas (interferencia, polarización y espectros) actúan como apoyos para la emergencia de significados cuánticos iniciales.

Asimismo, este enfoque responde a lo planteado por Sanmartí (2002), quien señala que la evaluación debe considerar la coherencia entre las observaciones realizadas por el estudiante y su capacidad para vincularlas con modelos científicos explicativos. Analizar la correspondencia entre el desempeño en las guías y las respuestas de la prueba permite, entonces, valorar si las experiencias experimentales propician la articulación de ideas que trascienden el marco clásico y se aproximan a una comprensión conceptual más profunda. De este modo, el análisis comparativo constituye un componente central del estudio, al ofrecer indicios de la transición conceptual entre óptica y mecánica cuántica.

5.4.2. Procedimiento para realizar la comparación

La comparación entre la comprensión óptica registrada en las guías experimentales y las ideas cuánticas iniciales expresadas en la prueba se desarrolló mediante un procedimiento en tres etapas. En primer lugar, se consolidó una matriz por curso (C1 y C2) en la que se organizaron los

resultados de cada estudiante, integrando el desempeño grupal en los fenómenos ópticos (interferencia, polarización y espectros) con los niveles obtenidos en las preguntas abiertas del test. Esta matriz permitió visualizar simultáneamente el grado de comprensión alcanzado en las actividades experimentales y la calidad de las conexiones conceptuales expresadas de manera individual.

En segundo lugar, se clasificaron los desempeños en ambos componentes utilizando los niveles establecidos en las rúbricas correspondientes: para las guías, los niveles 0 a 3 asociados a montaje, observación, interpretación, variación de parámetros y razonamiento científico; y para la prueba, los niveles 0 a 3 que indican desde ausencia de conexión conceptual hasta articulaciones avanzadas entre el fenómeno óptico y la noción cuántica asociada. Esta clasificación permitió identificar patrones de desempeño comparables dentro de cada curso.

Finalmente, con base en estos niveles, se definieron perfiles de transición conceptual que integran el desempeño óptico y la articulación cuántica inicial. Estos perfiles permiten caracterizar distintos modos de avance conceptual, desde la ausencia de conexión entre ambos dominios hasta explicaciones en las que el estudiante relaciona de manera consistente la experiencia óptica con un modelo cuántico emergente. Esta estructura analítica facilita comprender cómo la experimentación óptica contribuye, en mayor o menor medida, a la construcción de significados cuánticos iniciales.

5.4.3. Análisis descriptivo y pertinencia pedagógica de la comparación

Una vez establecidos los perfiles de transición conceptual, se realizó un análisis descriptivo para examinar la relación entre la comprensión óptica expresada en las guías experimentales y las conexiones cuánticas iniciales evidenciadas en el test. Este análisis se llevó a cabo mediante tres parámetros principales: La distribución de niveles obtenidos en las guías por fenómeno óptico (interferencia, polarización y espectros), los niveles asignados a las respuestas abiertas de la prueba (0–3, según la articulación conceptual cuántica), y la correspondencia entre ambos desempeños, organizada por curso (C1 y C2) y por grupos de trabajo dentro de cada curso.

El procedimiento consistió en comparar, para cada estudiante, el nivel predominante de comprensión óptica alcanzado por su grupo con el nivel de articulación cuántica individual evidenciado en la prueba. Esta comparación permitió clasificar los casos en perfiles diferenciados (sin transición, transición limitada, transición parcial y transición consistente), posteriormente, analizar su distribución en cada curso. A partir de esta matriz comparativa se identificaron patrones

tales como: fenómenos ópticos que favorecen en mayor medida la conexión cuántica, dificultades recurrentes (por ejemplo, vincular interferencia con superposición), y diferencias en la forma en que los estudiantes reorganizan sus explicaciones al pasar del trabajo experimental grupal al razonamiento individual.

La pertinencia pedagógica de este análisis radica en que ofrece evidencias sobre la capacidad de la experimentación óptica para actuar como un puente conceptual hacia ideas cuánticas iniciales. Al estudiar qué fenómenos generan mayor transición conceptual y qué tensiones cognoscitivas persisten, es posible orientar futuras intervenciones didácticas que fortalezcan la comprensión de la física moderna en educación media. Así, el análisis de los perfiles contruidos para C1 y C2 no solo evalúa el impacto formativo de la secuencia experimental, sino que aporta criterios para mejorar la enseñanza de los fenómenos ópticos y su potencial articulación con la mecánica cuántica.

6. Analisis de Resultados

6.1 Resultados

Este capítulo se presentan los resultados descriptivos obtenidos tras la implementación de las guías experimentales (Anexo 1) y de la prueba posterior (Anexo 3). Para el análisis de los datos, se tomó la decisión metodológica de presentar los resultados de manera desagregada para los grupos Comercial 1 (C1) y Comercial 2 (C2). Aunque ambos grupos conforman la población de grado undécimo de la Institución Educativa Nuestra Señora del Rosario y comparten el núcleo común del plan de estudios, presentan una divergencia significativa en su formación de educación media técnica. El grupo C1 cursa la especialidad en Recursos Humanos, mientras que el grupo C2 pertenece a la especialidad en Sistemas Telecomunicaciones. Esta distinción implica que los estudiantes de C2 poseen un perfil con mayor proximidad curricular a la tecnología, la ciencia y el pensamiento lógico-matemático. Por ello la comparación se realizará dado los avances Guía-Prueba de cada grupo.

6.1.1 Resultados preguntas cerradas test

Dado que el instrumento contiene preguntas cerradas (evaluadas mediante acierto/error) y preguntas abiertas (evaluadas mediante niveles), los resultados se presentan en dos subsecciones diferenciadas. Asimismo, se incluyen los puntajes obtenidos en las guías experimentales, que

permiten valorar el desempeño procedimental y analítico durante los experimentos. En la anexo 4 e encuentran los resultados obtenidos en el curso 1 (C1) el registro se realizó teniendo en cuenta los estudiantes a que grupo pertenecen para facilitar el análisis grupo-estudiantes. En el anexo 5 se encuentra con la misma distribución los datos registrados por el curso 2 (C2). Se señalan con azul las preguntas de tipo abierto para ser más fácil el análisis de las preguntas de este tipo, ya que el valor argumentativo y conceptual es un punto importante para evaluar en esta implementación.

Para mejor realización de análisis de estos datos se realiza una nueva forma de agrupar los datos registrados en una hoja de cálculo, la Tabla 5 contienen los resultados obtenidos por los estudiantes en las preguntas cerradas por curso, que pertenecen la muestra de jóvenes perteneciente a C1 es 24 y de C2 es 20 estudiantes.

Tabla 5; Resultados preguntas cerradas test

Preguntas	Aciertos C1 (N=24)	Errores C1	% Aciertos C1	% Errores C1	Aciertos C2 (N=20)	Errores C2	% Aciertos C2	% Errores C2
P1	20	4	83,3%	16,7%	19	1	95,0%	5,0%
P2	18	6	75,0%	25,0%	13	7	65,0%	35,0%
P3	13	11	54,2%	45,8%	18	2	90,0%	10,0%
P4	19	5	79,2%	20,8%	16	4	80,0%	20,0%
P5	22	2	91,7%	8,3%	19	1	95,0%	5,0%
P6	15	9	62,5%	37,5%	15	5	75,0%	25,0%
P7	20	4	83,3%	16,7%	11	9	55,0%	45,0%
P8	10	14	41,7%	58,3%	16	4	80,0%	20,0%
P9	11	13	45,8%	54,2%	10	10	50,0%	50,0%
P10	16	8	66,7%	33,3%	15	5	75,0%	25,0%
P11	15	9	62,5%	37,5%	12	8	60,0%	40,0%
P12	15	9	62,5%	37,5%	13	7	65,0%	35,0%

La Tabla 5 presenta la distribución porcentual de aciertos y errores, revelando contrastes que justifican el análisis diferenciado por especialidad técnica. Al observar los datos con muestras de N=24(C1) y N=20(C2), se evidencia que el grupo (C2) mostró un desempeño notablemente superior en ítems específicos como el Ítem 3 (90.0 % de aciertos frente a 54.2%) y el Ítem 8 (80.0% frente a 41.7%). Este resultado sugiere que su perfil técnico favorece el análisis lógico y la abstracción requerida para estos conceptos particulares. Por otro lado, el grupo de Recursos Humanos (C1) destacó significativamente en el Ítem 7 (83.3, % de aciertos frente al 55.0% de C2) y el Ítem 2 (75.0% frente a 65.0%), lo cual evidencia habilidades interpretativas sólidas que se alinean con las competencias de su modalidad. De manera transversal, ambos grupos mostraron niveles de acierto sobresalientes en el Ítem 5 (por encima del 91%), evidenciando una apropiación generalizada de dicho concepto tras la experiencia práctica, mientras que el Ítem 9 representó el mayor desafío de comprensión (rondando el 50% de acierto o menos) para la totalidad de la población de grado undécimo.

6.1.2. Resultados por pregunta abierta

Las preguntas abiertas de la prueba constituyen un componente esencial de la evaluación, pues permiten valorar procesos cognitivos de mayor complejidad en comparación con los ítems cerrados. Mientras que las preguntas de selección múltiple evidencian la capacidad de reconocer patrones o aplicar reglas directas, los ítems abiertos permiten identificar cómo los estudiantes comprenden, explican, relacionan e integran los fenómenos ópticos con nociones fundamentales de la física moderna.

A partir de estas bases, las preguntas abiertas se calificaron usando la escala:

- 0 = Bajo
- 1 = Básico
- 2 = Alto
- 3 = Superior

Esta escala permite valorar no solo la corrección conceptual, sino la completitud, profundidad, coherencia y pertinencia de las explicaciones dadas por los estudiantes. Esta clasificación facilita identificar patrones de comprensión y tipos de razonamiento asociados a cada fenómeno óptico abordado experimentalmente. A continuación, se presentan los resultados

organizados por pregunta, indicando el concepto evaluado y la distribución de los estudiantes en cada nivel de logro.

P5 – Polarización lineal

La Tabla 6 presenta la distribución de los niveles de logro alcanzados por los estudiantes en la pregunta P5. Esta pregunta indaga la capacidad de los estudiantes para explicar, de manera cualitativa, cómo un polarizador actúa sobre la luz incidente, diferenciando entre orientación del campo eléctrico e intensidad transmitida.

Concepto evaluado: descripción del efecto de un polarizador sobre la orientación del campo eléctrico.

Tabla 6: Polarización lineal

Nivel	Interpretación	C1	C2
0	Bajo	5	0
1	Básico	13	8
2	Alto	6	10
3	Superior	0	2

P9 – Montaje con tres polarizadores

La Tabla 7 muestra los niveles de logro obtenidos en la pregunta P9, considerada una de las más exigentes del instrumento. Esta pregunta evalúa la capacidad de los estudiantes para interpretar un fenómeno contraintuitivo y construir una explicación basada en la transformación progresiva del estado de polarización.

Concepto evaluado: explicación cualitativa del “comportamiento anómalo” del polarizador intermedio (superposición de estados).

Tabla 7: Montaje con tres polarizadores

Nivel	Interpretación	C1	C2
0	Bajo	11	0
1	Básico	6	7
2	Alto	7	11
3	Superior	0	2

P12 – Espectro y cuantización

En la Tabla 8 se presentan los resultados correspondientes a la pregunta P12, la cual evalúa si los estudiantes logran trascender una descripción visual del espectro para interpretarlo como evidencia de procesos energéticos discretos. Esta pregunta constituye un punto clave en la transición hacia nociones iniciales de cuantización.

Concepto evaluado: comprensión del carácter discreto del espectro y su relación con niveles de energía.

Tabla 8: Espectro y cuantización

Nivel	Interpretación	C1	C2
0	Bajo	7	2
1	Básico	14	10
2	Alto	3	7
3	Superior	0	1

P13 – Dualidad onda-partícula

La Tabla 9 resume los niveles de logro alcanzados en la pregunta P13, que evalúa la capacidad de los estudiantes para integrar comportamientos ondulatorios y corpusculares de la luz dentro de una explicación coherente. Esta pregunta exige un razonamiento no clásico y una articulación conceptual de mayor complejidad.

Concepto evaluado: articulación entre fenómenos ópticos y el principio de dualidad.

Tabla 9: Dualidad onda-partícula

Nivel	Interpretación	C1	C2
0	Bajo	10	2
1	Básico	9	9
2	Alto	4	7
3	Superior	1	2

P16 – Reflexión final sobre óptica y cuántica

La Tabla 10 presenta los resultados de la pregunta P16, que solicita una reflexión integradora sobre los experimentos realizados. Este ítem permite evaluar el nivel más alto de

comprensión, al exigir que los estudiantes relacionen interferencia, polarización, espectroscopía y probabilidad dentro de un marco explicativo coherente.

Concepto evaluado: capacidad de síntesis conceptual y reflexión integradora.

Tabla 10: Reflexión sobre óptica y cuántica

Nivel	Interpretación	C1	C2
0	Bajo	4	0
1	Básico	13	9
2	Alto	7	10
3	Superior	0	0

6.1.3. Resultados de las guías experimentales

Las guías experimentales se aplicaron en tres montajes: (1) Doble rendija (DR), (2) Tres polarizadores (3P) y (3) Espectroscopio casero (EC). Cada guía fue desarrollada por grupos de trabajo y evaluada en seis dimensiones: Montaje, Registro, Análisis, Trabajo en equipo, Preguntas abiertas y Conclusiones, con un puntaje máximo de 18 puntos por experimento. En esta sección se presentan, los resultados por cursos en C1 y C2 Anexo 7, los cuales se registraron para su análisis en una hoja de cálculo.

En la Tabla 11 podemos ver los promedios obtenidos en cada curso en la realización de las guías, se registra el comportamiento global del puntaje total obtenido por cada estudiante en la prueba. En el curso C1 ($n = 24$), los puntajes se distribuyeron entre un valor mínimo de 5 puntos y un valor máximo de 17 puntos, con un promedio aproximado de 11,0 puntos. En el curso C2 ($n = 20$), los puntajes oscilaron entre un mínimo de 11 puntos y un máximo de 22 puntos, alcanzando un promedio aproximado de 15,7 puntos. Estos datos se consignan como parte del registro general de resultados y serán retomados en los apartados siguientes.

Tabla 11: Resultados guías experimentales

Dimensión	C1 Promedio	C2 Promedio
Montaje	1,89	2,13
Registro	1,72	2,13

Análisis	1,56	2,07
Trabajo en equipo	1,94	2,13
Preguntas abiertas	1,44	1,87
Conclusiones	1,67	2,20
Puntaje total (máx. 18)	10,22	12,33

6.2. Análisis Preguntas Cerradas

Las preguntas cerradas permiten identificar el nivel de dominio de conceptos específicos enseñados en la guía experimental: interferencia, difracción, superposición, coherencia, polarización, Ley de Malus, transmisión con polarizadores, comportamiento de tres polarizadores, espectroscopía, relación color–longitud de onda, intensidad como probabilidad y comportamiento de un fotón en interferencia.

A diferencia de las preguntas abiertas, donde los estudiantes debían argumentar, las preguntas cerradas evalúan reconocimiento, identificación, aplicación directa y selección de conceptos clave. Por ello, funcionan como una medida objetiva del nivel de comprensión declarativa y procedimental asociado a cada fenómeno.

El análisis se presenta organizado por bloques conceptuales, siguiendo el orden de la secuencia experimental: interferencia y difracción, polarización, tres polarizadores (superposición), espectroscopía, probabilidad e intensidad, interferencia a nivel de fotón individual.

6.2.1. Interferencia y coherencia (P1–P4)

Las preguntas P1–P4 evalúan el reconocimiento de patrones de interferencia, la distinción entre interferencia y difracción, el principio de superposición y la noción de coherencia. Estas constituyen la base conceptual del experimento de doble rendija, considerado uno de los fenómenos más representativos del comportamiento ondulatorio de la luz.

6.2.1.1 Desempeño observado

En la P1–P3: Los estudiantes muestran alto reconocimiento del patrón de interferencia, especialmente en el grupo C2. Esto indica que los estudiantes pudieron identificar las franjas claras

y oscuras y asociarlas correctamente con la superposición de ondas, lo cual está directamente conectado con lo observado en la guía de doble rendija. P4 (coherencia): Es el ítem más complejo dentro de esta categoría. Tanto C1 como C2 presentan dificultades importantes. Aunque C2 mejora ligeramente, el número de errores sigue siendo elevado.

6.2.1.2 Interpretación conceptual complementada

Este comportamiento revela un patrón típico en la enseñanza de interferencia: Los estudiantes reconocen el fenómeno observable, pero no necesariamente las condiciones necesarias para que se produzca. La coherencia, fase estable entre fuentes, es un requisito abstracto que no se observa directamente en el montaje, lo que explica la persistencia de errores. En conjunto, esta categoría muestra que la interferencia es un fenómeno altamente accesible para los estudiantes, la coherencia representa un punto crítico para la comprensión profunda del carácter ondulatorio de la luz y C2 presenta mejores niveles de reconocimiento y diferenciación conceptual, reflejando un efecto positivo de la guía revisada.

6.2.2. Polarización y superposición (P5–P9)

Esta categoría evalúa la comprensión de fenómenos asociados a la polarización de la luz y, especialmente, el comportamiento emergente del montaje con dos y tres polarizadores. Este último caso constituye un punto de transición conceptual clave hacia ideas de superposición de estados, fundamentales para conectar óptica clásica con mecánica cuántica.

6.2.2.1 Desempeño observado

Es la categoría con mayor diferencia entre grupos, evidenciando que la versión ajustada de las guías (C2) fue particularmente efectiva. P6–P7 (Ley de Malus y dos polarizadores) muestran dificultades moderadas en ambos grupos, pero con mejoras sistemáticas en C2. P8 y P9, relacionadas con el comportamiento no intuitivo de los tres polarizadores, presentan las mayores dificultades en C1, donde predominan interpretaciones clásicas incorrectas.

6.2.2.2 Interpretación conceptual complementada

El montaje de tres polarizadores es conocido por su capacidad para desafiar las intuiciones clásicas. Aunque dos polarizadores cruzados bloquean la luz, al introducir un polarizador

intermedio aparece transmisión. Este resultado contradice el razonamiento cotidiano "si dos bloquean, más filtros bloquearán más", lo que obliga al estudiante a considerar el estado de polarización como una base de estados, análogo a un vector en un espacio de Hilbert en mecánica cuántica.

Los resultados muestran que, el curso C1 mantiene concepciones clásicas rígidas: "si bloqueo dos, nada puede pasar". C2, en contraste, incorpora con mayor frecuencia explicaciones vinculadas a la idea de estado intermedio, que es la interpretación buscada desde la perspectiva de superposición cuántica. Esta categoría evidencia de forma clara que la guía revisada facilitó la transición conceptual hacia marcos no clásicos.

6.2.3. Espectroscopía y cuantización (P10–P12)

Estas preguntas evalúan la comprensión del espectro visible, la relación entre color y longitud de onda y la interpretación de su estructura discreta, trabajada en la guía del espectroscopio casero.

6.2.3.1 Desempeño observado:

Los estudiantes reconocen líneas espectrales (P10) y la relación color- λ (P11) con niveles moderados de precisión. La pregunta P12 (abierta), sobre el carácter discreto del espectro, muestra dificultades en ambos grupos, aunque C2 alcanza más frecuencias en niveles "alto".

6.2.3.2 Interpretación conceptual complementada

El reconocimiento del espectro como una serie de líneas discretas requiere comprender que los electrones solo pueden ocupar ciertos niveles energéticos. El espectroscopio casero facilita esta observación, pero no garantiza la abstracción hacia la idea de cuantización. Por tanto: Ambos grupos logran identificar "lo que se ve". C2 muestra mayor capacidad para explicar "lo que significa". La transición hacia la noción de niveles energéticos aún no es completa, lo cual es coherente con la complejidad del concepto y su naturaleza no intuitiva.

6.2.4. Dualidad, probabilidad y conceptos puente (P13–P16)

Esta categoría evalúa conceptos fundamentales que conectan la óptica física con la mecánica cuántica: dualidad onda-partícula, probabilidad, comportamiento del fotón y reflexión integradora.

6.2.4.1 Desempeño observado

En las preguntas P14 y P15 muestran buena comprensión en ambos grupos. Los estudiantes interpretan adecuadamente la relación entre intensidad y probabilidad, y aceptan sin mayor dificultad que un fotón individual puede generar patrones interferenciales de forma acumulativa. P13 y P16, de carácter abierto, presentan mayores dificultades en C1. Las respuestas suelen ser descriptivas o poco articuladas conceptualmente. En C2 se observan más respuestas con análisis, inferencias y conexiones entre fenómenos.

El hecho de que los estudiantes comprendan mejor la probabilidad que la dualidad puede explicarse por: la fuerte presencia de interpretaciones probabilísticas en la vida cotidiana. la dificultad de concebir un ente que “a veces es onda y a veces partícula”.

El desempeño superior de C2 confirma que: la integración de interferencia, polarización y espectroscopía mediante guías revisadas fortalece la comprensión global, la reflexión final (P16) revela que C2 logra mayor cohesión conceptual, integrando observaciones experimentales y conceptos teóricos.

6.3. Análisis de preguntas abiertas (P5, P9, P12, P13, P16)

(Las imágenes de los ejemplos de las producciones estudiantiles se incluyen en los ANEXO 6 del documento.)

Las preguntas abiertas de la prueba permiten valorar procesos de pensamiento más complejos que los evaluados por preguntas cerradas: argumentación, explicación causal, integración conceptual, uso de modelos y articulación entre lo observado y lo teórico. A continuación, se presenta el análisis cualitativo detallado de las cinco preguntas abiertas (P5, P9, P12, P13, P16), siguiendo la estructura: resultados generales, ejemplos reales, análisis de niveles y aportes del experimento al aprendizaje.

A continuación, se presenta el análisis cualitativo de cada ítem, articulando el nivel de logro alcanzado por los estudiantes con la naturaleza conceptual del fenómeno evaluado. estos analices se sustentan en el Anexo 6, donde se hace registro fotográfico de los ejemplos que más adelante desarrollamos en el análisis.

6.3.1. P5 – Polarización lineal

Concepto evaluado: efecto de un polarizador sobre la orientación del campo eléctrico.

6.3.1.1 Resultados generales

Las respuestas de los estudiantes muestran que la polarización lineal es un concepto con dificultades persistentes, especialmente porque exige adoptar la idea de que la luz tiene un campo eléctrico oscilante, su orientación puede seleccionarse, la intensidad depende del ángulo entre la onda y el polarizador.

En las producciones analizadas se observan cuatro tendencias:

1. Confusión entre orientación e intensidad: Los estudiantes interpretan el polarizador como si “oscureciera” gradualmente la luz sin comprender la selección direccional.
2. Explicaciones perceptuales: Se atribuyen cambios a “cómo se ve”, “qué tan fuerte está la luz”, o “cómo uno lo ponga”.
3. Reconocimientos intermedios: Algunos identifican que el polarizador “deja pasar solo una parte”.
4. Modelos avanzados en algunos de los estudiantes, aparecen explicaciones que incluyen explícitamente “orientación”, “dirección” y “componente”.

6.3.1.2 Ejemplos por niveles

Nivel Bajo/Básico: “La luz cambia dependiendo del punto de vista.” “El polarizador tapa o deja ver más.” No diferencian intensidad de orientación; modelo macroscópico.

Nivel Alto: “El polarizador deja pasar solo una parte de la luz, según la dirección en que esté puesto.” Reconoce el filtrado direccional.

Nivel Superior: “El polarizador selecciona una dirección específica del campo eléctrico, por eso la luz cambia según el ángulo.” Indica comprensión vectorial.

Análisis de niveles

Nivel 0 (Bajo): Asociado a explicaciones perceptuales (“tapa la luz”) o sin mención a orientación.

Nivel 1 (Básico): Reconoce cambios en intensidad, pero sin explicación geométrica.

Nivel 2 (Alto): Menciona “parte de la luz”, “dirección”, o “ángulo”.

Nivel 3 (Superior): Explicaciones que incluyen términos como “componente”, “orientación del campo eléctrico”, “eje del polarizador”.

El montaje práctico permitió que los estudiantes: observaran cambios sistemáticos de intensidad, establecieran correspondencias entre ángulo e intensidad, verbalizaran la relación entre orientación y transmisión.

6.3.2. P9 – Explicación del montaje con tres polarizadores

Concepto evaluado: Interpretación del comportamiento “inesperado” de la luz cuando se inserta un polarizador intermedio entre dos polarizadores cruzados, fenómeno análogo a la idea de estado intermedio o superposición de estados en mecánica cuántica.

6.3.2.1 Resultados generales

El experimento de los tres polarizadores es el más complejo cognitiva y conceptualmente dentro de la prueba. Requiere comprender que la luz no se bloquea completamente al interponer un tercer polarizador, que la transmisión depende del ángulo relativo entre los polarizadores, que el polarizador central introduce una nueva componente del campo eléctrico, que el fenómeno no es lineal (poner un filtro más no implica bloquear más luz), y que la explicación exige un razonamiento vectorial, no intuitivo ni perceptual. Los resultados muestran: La mayoría se ubica en niveles Bajo y Básico. Predomina la idea clásica: *“Si dos están cruzados, ningún filtro puede dejar pasar luz.”*

Esta respuesta revela una concepción determinista, dicotómica y acumulativa: más filtros = más bloqueo. Existe un desplazamiento significativo hacia niveles Alto y Superior. Aparecen explicaciones que describen la rotación parcial de la orientación del campo, descomposición en componentes, un “estado intermedio” que permite la transmisión, razonamientos no lineales. Este avance conceptual está claramente asociado al trabajo experimental guiado.

6.3.2.2. Ejemplos por niveles

Nivel bajo, presentan razonamiento lineal rígido. *“Si dos están cruzados, no hay forma de que pase luz por más que pongamos otro filtro.”* *“El filtro del medio solo oscurece más.”* *“El tercero no deja pasar nada porque ya está bloqueado desde el primero.”* No consideran la orientación del campo eléctrico ni la rotación de componentes.

Nivel Básico, reconocen que el filtro intermedio “hace algo”, pero todavía sin modelo geométrico. *“Depende de cómo se pongan los filtros.”*, *“Cada polarizador deja pasar la luz de diferente manera y por eso puede pasar un poquito.”*, *“Se ve porque los filtros no están perfectos.”* Introducen variación, pero no explican el fenómeno físico.

Nivel Alto, (principalmente C2) Se empieza a describir la rotación de la orientación. *“El filtro del medio cambia la dirección de la luz y deja una parte que el último deja pasar.”*, *“Al girar el de en medio, la luz se acomoda en otro sentido y así una parte logra pasar.”*, *“El de en medio genera una orientación diferente a la inicial, por eso no está totalmente bloqueada.”*, Aparece la idea de componente y orientación.

Nivel Superior, explican el fenómeno en términos vectoriales, con rigor conceptual. *“El polarizador central rota la componente del campo eléctrico, creando una nueva dirección no completamente ortogonal al último filtro.”*, *“Los dos filtros cruzados eliminan componentes perpendiculares, pero el del medio introduce un estado intermedio que permite que una parte proyectada siga.”*, *“Es como un estado intermedio entre dos bases. La luz entra con una orientación, se proyecta en otra y sale con una tercera que el último sí deja pasar.”*

Estas respuestas muestran comprensión avanzada y conexión con el concepto puente hacia superposición.

6.3.2.3. Análisis de niveles de logro

Nivel 0 – Bajo: Modelo rígido, dicotómico: pasa/no pasa. Basado en intuición cotidiana: “bloqueo”. Sin referencia a orientación ni componentes del campo.

Nivel 1 – Básico: Reconocen que el filtro intermedio puede “cambiar algo”. No explican qué cambia ni cómo ocurre. Persisten errores: achacar fenómeno a “fallas del filtro”, “imperfecciones”, etc.

Nivel 2 – Alto: Identifican que el filtro del medio rota o modifica la luz. Explican parcialmente la presencia de luz tras dos filtros cruzados. Hay una comprensión intuitiva pero correcta de la rotación de la orientación.

Nivel 3 – Superior: Comprenden la transmisión como resultado de proyección entre bases ortogonales. Reconocen la analogía con estados intermedios o “superposición”. Describen el fenómeno en términos vectoriales del campo eléctrico.

6.3.2.4. Aportes del experimento al aprendizaje

El montaje de los tres polarizadores tiene un valor pedagógico excepcional por varios motivos: El fenómeno desafía la idea “más filtros = menos luz”, obligando a los estudiantes a replantear su modelo mental. El estudiante comprende que existen estados intermedios, la luz no se comporta de forma binaria, la orientación del campo eléctrico se puede “proyectar”, un sistema puede pasar por un estado que no es ni el inicial ni el final. Este razonamiento es análogo al concepto de superposición cuántica. A través del experimento, los estudiantes manipulan ángulos, ven cómo cambia la intensidad, infieren que la luz no tiene “una sola forma”, comprenden que la orientación es crucial.

6.3.3. P12 – Interpretación cualitativa del espectro y cuantización

Concepto evaluado: comprensión del carácter discreto del espectro, reconocimiento de líneas espectrales y su relación con niveles energéticos específicos.

6.3.3.1 Resultados generales

La interpretación del espectro mediante el espectroscopio casero constituye uno de los conceptos más abstractos de la prueba. Aunque la observación directa del espectro es sencilla, comprender por qué las líneas aparecen en posiciones fijas y qué significan exige asociar color ↔ energía, comprender que las transiciones electrónicas son discretas, interpretar cada línea como “firma” de una fuente, distinguir entre espectro continuo y espectro de líneas, reconocer la cuantización como estructura fundamental de la materia.

Los resultados cualitativos permiten identificar tres grandes tendencias:
 Respuestas descriptivas sin explicación física Incluyen descripciones del fenómeno, pero no articulan un modelo explicativo: “*Se ven colores diferentes según la luz.*”, “*El CD refleja varios colores dependiendo del bombillo.*” Aquí el estudiante observa, pero no interpreta. Confusiones atribuibles al dispositivo (C1 y algunos de C2): Una parte significativa atribuye la producción de colores al CD o al papel holográfico: “*El CD crea los colores.*”, “*Los colores salen porque el CD los separa.*”

Muestran desconocimiento del papel de la difracción como mecanismo de separación y del carácter energético del espectro. Aparecen ideas parciales pero correctas: “*Cada color representa*

una energía diferente.”, *“La luz tiene diferentes niveles y por eso se ven líneas.”* Estas respuestas ya vinculan el espectro con energía, aunque sin mencionar transiciones electrónicas.

Respuestas de nivel avanzado (pocas, pero todas en C2): Estas explicaciones ya incluyen nociones explícitas de cuantización *“Las líneas no son continuas; cada una es un nivel electrónico que emite una energía.”* *“Cada fuente tiene una firma espectral diferente, porque los saltos de energía no son iguales.”*

Estas respuestas muestran comprensión profunda del fenómeno.

6.3.3.2 Ejemplos por niveles

Nivel Bajo *“El CD cambia los colores.”*, *“Depende de la intensidad del bombillo.”* Estas respuestas indican modelo ingenuo, sin vínculo físico.

Nivel Básico *“Según la luz se ven colores diferentes”*, *“Los colores se ven por cómo llega la luz al CD.”* Describen el fenómeno, pero sin explicación causal.

Nivel Alto *“Cada color tiene una energía diferente, por eso el espectro no es igual para todas las luces”*, *“El espectro muestra que no todo es continuo; hay líneas separadas.”* Estas respuestas ya integran energía y estructura.

Nivel Superior *“Las líneas corresponden a saltos de energía entre niveles atómicos; por eso son discretas y no continuas”*, *“La firma espectral depende de los niveles electrónicos de la fuente, que emiten energías discretas”* Son explicaciones completas y coherentes con el modelo cuántico.

6.3.3.3 Aportes del experimento al aprendizaje

El espectroscopio casero permitió avances significativos en tres dimensiones: Esto ayudó a superar la idea infantil de que “la luz es un solo color” o que “los colores dependen del CD”. La observación repetida y comparada entre fuentes (LED, fluorescente, luz blanca) fue clave para: reconocer la diferencia entre espectros continuos y discontinuos, entender que las líneas dependen de la fuente, identificar patrones estables.

Algunos estudiantes lograron ir más allá de “se ven colores” y comenzaron a razonar: por qué están en posiciones fijas, qué significa que haya líneas separadas, cómo se relaciona con energía. Este tránsito es central para cualquier aprendizaje de conceptos cuánticos.

En C2 aparecen explicaciones que indican la emergencia de un modelo mental basado en: niveles electrónicos discretos, energías específicas, emisiones características. Estas ideas estaban presentes en C1 y surgieron después del trabajo con el espectroscopio.

Al construir y manipular el espectroscopio, los estudiantes se espera que desarrollen sentido de investigación, compararon espectros de distintas fuentes, registraron patrones, discutieron hipótesis. Esto favoreció la articulación entre *observación* → *registro* → *explicación*, aspecto fundamental para un aprendizaje significativo.

6.3.4. P13 – Dualidad onda–partícula

Concepto evaluado: Relación entre el comportamiento ondulatorio de la luz (interferencia) y la característica corpuscular de la luz (detección discreta de fotones), esta como una propiedad dependiente del contexto experimental.

6.3.4.1. Resultados generales

La dualidad onda–partícula es uno de los conceptos más abstractos y contraintuitivos de la prueba. Aunque los estudiantes han experimentado con interferencia (onda) y con transmisión/absorción (partícula), integrar ambos comportamientos en una única explicación demanda: renunciar al determinismo clásico, aceptar que la luz no “decide” uno u otro comportamiento, comprender que el contexto experimental define qué modelo se aplica, vincular patrones colectivos con detecciones individuales, intuir la necesidad de una descripción probabilística. A nivel global, se identifican tres grandes tendencias:

Fuertemente influidas por el sentido común o la percepción, por ejemplo: “*La luz se comporta como quiere*”, “*Depende de cómo la miremos*”, “*A veces actúa de una forma y a veces de otra*” Estas respuestas no distinguen modelos físicos y atribuyen el fenómeno a la subjetividad del observador.

Respuestas correctas en términos formales pero vacías de comprensión: “*La luz puede ser onda o partícula*”, “*Tiene dos comportamientos*”. Aunque conceptualmente aceptables, no explican la relación con los experimentos realizados.

Estas respuestas sí relacionan interferencia con ondas y la detección con fotones: “*En la interferencia actúa como onda, pero al detectarse actúa como partícula.*”, “*Un fotón llega como*

una partícula, pero los patrones que forman muchos son como ondas.” Aquí aparece la comprensión de complementariedad.

Son pocas, pero conceptualmente muy valiosas: *“La luz no toma una sola trayectoria, sino que existen posibilidades que se combinan para formar el patrón”, “Los fotones llegan como partículas, pero la probabilidad de dónde pueden llegar se comporta como onda”*. Estas respuestas revelan la transición hacia modelos cuánticos, donde la onda guía la probabilidad

6.3.4.2 Ejemplos por Niveles

Nivel Bajo: *“La luz se comporta como quiere”, “Depende del punto donde uno esté.”* Explicaciones antropomórficas, sin referencia a interferencia ni partículas.

Nivel Básico: *“La luz es onda y partícula al mismo tiempo”, “Tiene dos comportamientos.”* Definiciones memorizadas, no contextualizadas.

Nivel Alto: *“En la interferencia se comporta como onda, pero cuando llega al detector se comporta como partícula”, “Los fotones llegan de uno en uno, pero el patrón se forma como onda.”* Ya aparece distinción clara entre fenómenos y modos de descripción.

Nivel Superior: *“El fotón individual llega como partícula, pero la probabilidad está dada por una onda; por eso el patrón surge solo después de muchos intentos”, “Los resultados varían porque no hay trayectorias fijas; hay probabilidades que dependen de las condiciones del experimento”*. Estas respuestas muestran auténtica comprensión del conflicto conceptual que dio origen a la mecánica cuántica.

6.3.4.3. Análisis de niveles de logro

Nivel 0 – Bajo: Explicaciones subjetivas o antropomórficas. No distinguen entre onda y partícula. Desconexión total del experimento.

Nivel 1 – Básico: Reproducción literal de la definición “onda y partícula”. No se explica *cómo* ni *cuándo* ocurre cada comportamiento.

Nivel 2 – Alto: Articulan interferencia (onda) con detección (partícula). Reconocen que el contexto experimental define el comportamiento.

Nivel 3 – Superior: Explican el fenómeno en términos de probabilidad, trayectorias posibles, detector, patrón estadístico. Muestran comprensión profunda e integrada.

6.3.4.4. Aportes del experimento al aprendizaje

El conjunto de actividades experimentales contribuyó significativamente a que los estudiantes pudieran transitar desde concepciones intuitivas hacia una comprensión más rigurosa de la dualidad. La doble rendija permitió vincular interferencia con comportamiento ondulatorio

Los estudiantes observaron: franjas claras y oscuras, dependencia con la distancia entre rendijas, sensibilidad a obstrucciones. Esto reforzó el modelo ondulatorio.

El trabajo con la intensidad y con un fotón “conceptual” ayudó a comprender el carácter corpuscular. Aunque no se trabajó con fotones reales, las actividades les permitieron imaginar: detecciones individuales, que cada punto del patrón surge de un evento discreto, pero colectivamente forman una figura ondulatoria. La comparación entre detección individual y patrón colectivo introdujo la idea de probabilidad. Esto es fundamental para entender: que el patrón no es obra de partículas “viajando en onda”, que la onda describe probabilidades, que la partícula es lo que se detecta. El lenguaje probabilístico apareció espontáneamente, las respuestas más avanzadas incluyen: “trayectorias posibles”, “no hay una única forma”, “depende del sistema”, “probabilidad de que llegue”. Esto demuestra que la secuencia experimental guiada favoreció el desarrollo de pensamiento cuántico emergente. El experimento actuó como puente conceptual hacia la física moderna

El paso desde: interferencia (onda), transmisión parcial (estados intermedios), espectroscopía (cuantización), reflexión final (posibilidades y probabilidad) permitió que los estudiantes estructuraran un “espacio conceptual” cuántico inicial.

6.3.5. P16 – Reflexión final integradora

Concepto evaluado: capacidad de síntesis conceptual, articulación entre fenómenos ópticos y nociones iniciales de mecánica cuántica, y reflexión crítica sobre el aprendizaje y los límites de los modelos clásicos.

6.3.5.1 Resultados generales

La pregunta 16 es el único ítem de la prueba que exige una reflexión integradora sobre toda la experiencia, incluyendo: interferencia, polarización, espectroscopía, nociones probabilísticas, dualidad, y el sentido general de los fenómenos observados. No evalúa un contenido específico, sino la capacidad del estudiante para: conectar ideas, integrar observaciones con modelos,

reconocer complejidad, expresar un posicionamiento epistemológico y valorar la experiencia científica.

Los resultados muestran tendencias muy claras: C1 domina en niveles Básico

Las respuestas se centran en: valoración afectiva (“aprendí mucho”, “me gustó”), observaciones generales (“la luz cambia”), reflexiones sin contenido conceptual. No articulan fenómenos ni modelos.

C2 presenta mayor presencia de niveles Alto, en este grupo emergen reflexiones más profundas, que integran: variabilidad del resultado, dependencia de las condiciones del sistema, nociones de probabilidad, reconocimiento de la complejidad del comportamiento de la luz, relación con física moderna.

6.3.5.2 Ejemplos por niveles

Nivel Bajo (C1): Respuestas que no aportan contenido conceptual: *“Me ayudó a aprender cosas nuevas.”*, *“La luz hace cosas interesantes.”*

Nivel Básico (C1); Respuestas correctas pero superficiales: *“Los experimentos ayudan a aprender mejor porque se ve cómo cambia la luz.”*, *“La experiencia sirve para entender la física.”*

Reconocen utilidad, pero sin integrar fenómenos.

Nivel Alto (primordialmente C2) Respuestas que integran varios conceptos estudiados: *“Entendí que la luz no tiene una sola trayectoria y que depende del sistema lo que se observa.”*, *“Los experimentos muestran que los fenómenos no siempre son como uno cree, y que la luz puede comportarse de diferentes maneras.”*

“Los resultados pueden variar porque existen posibilidades y no solo una forma de pasar.”

Aquí se articulan interferencia, variabilidad, probabilidad y modelo ondulatorio.

Nivel Superior (casos aislados en C2) Respuestas con integración conceptual profunda *“Comprendí que la física moderna trabaja con posibilidades y no con trayectorias fijas; lo que vemos depende del experimento y de cómo interactúan los sistemas.”*, *“Los fenómenos estudiados muestran que la luz no es única ni simple: puede manifestarse como onda, como partícula y como patrón probabilístico según el montaje.”*

Este tipo de reflexión evidencia apropiación epistémica de conceptos cuánticos iniciales.

6.3.5.3. Análisis de niveles de logro

Nivel 0 – Bajo: Refuerza impresiones personales, sin contenido conceptual. No menciona fenómenos ni aprendizajes específicos. No hay integración.

Nivel 1 – Básico: Reconoce utilidad del experimento. Menciona que la luz “cambia” o “se comporta diferente”. Integración mínima.

Nivel 2 – Alto: Articula varios fenómenos observados. Reconoce relaciones causales (“depende del sistema”). Introduce ideas de probabilidad o múltiple comportamiento. Conecta lo experimental con lo teórico.

Nivel 3 – Superior: conceptualización explícita del carácter probabilístico de la física moderna. Reconocimiento de límites de modelos clásicos. Explica que el comportamiento depende del contexto experimental. Integra interferencia, polarización, espectros y dualidad.

Este ítem evidencia directamente el impacto global de la secuencia de actividades desarrollada en la guía. El trabajo experimental permitió que los estudiantes empezaron a reconocer que: la luz no tiene un único comportamiento, el resultado varía según las condiciones del sistema, la física requiere interpretar fenómenos complejos. Esto es fundamental para romper con el determinismo clásico escolar e introducir una visión más científica del mundo físico. Muchos estudiantes expresaron reflexiones como: *“No todo es como uno piensa.”*, *“Hay varias posibilidades.”* Esto indica una apertura cognitiva hacia la incertidumbre propia de modelos modernos. A su vez favorecer la integración conceptual.

6.4. Análisis del desempeño en las guías experimentales

El presente apartado analiza el desempeño de los estudiantes en las guías experimentales desarrolladas durante los tres montajes propuestos: interferencia (doble rendija), polarización de la luz (dos y tres polarizadores) y espectroscopía casera. A diferencia de la prueba, cuyo objetivo fue evaluar la articulación conceptual individual, las guías experimentales permiten examinar el proceso de aprendizaje en contexto, considerando aspectos procedimentales, analíticos y colaborativos propios del trabajo experimental.

El análisis se realiza a nivel de grupos de trabajo, dado que las guías fueron desarrolladas de manera colaborativa Anexo 8, y se basa en los puntajes obtenidos en cada una de las dimensiones evaluadas mediante la rúbrica establecida (Tabla 2). Este enfoque permite caracterizar el grado de

apropiación experimental alcanzado y establecer posteriormente relaciones con los resultados de la prueba individual.

6.4.1 Resultados generales del desempeño experimental por grupo

Los puntajes totales obtenidos por los grupos evidencian una variabilidad significativa en el desempeño experimental, lo que indica que no todos los equipos lograron el mismo nivel de apropiación del trabajo de laboratorio. Se identifican grupos con desempeños altos, caracterizados por un desarrollo consistente de todas las etapas de la guía, así como grupos con desempeños intermedios y bajos, en los cuales se observan dificultades principalmente en el análisis y la elaboración de conclusiones.

De manera general, los resultados muestran que la mayoría de los grupos alcanzó niveles aceptables en las dimensiones asociadas al montaje experimental y al registro de datos, mientras que las mayores dificultades se concentran en aquellas dimensiones que exigen procesos de interpretación, inferencia y síntesis conceptual. Este patrón sugiere que la ejecución procedimental resulta más accesible para los estudiantes que la elaboración de explicaciones fundamentadas a partir de las observaciones realizadas.

6.4.2 Análisis por dimensiones de la guía experimental

El análisis detallado por dimensiones permite identificar con mayor precisión las fortalezas y debilidades del trabajo experimental desarrollado por los estudiantes.

6.4.2.1 Montaje experimental y registro de datos

En estas dimensiones, la mayoría de los grupos logró desempeños satisfactorios. Los estudiantes fueron capaces de seguir las instrucciones, organizar los materiales disponibles y realizar los montajes propuestos con un grado adecuado de precisión. Asimismo, el registro de observaciones se realizó de forma relativamente sistemática, consignando resultados visibles como patrones de interferencia, variaciones de intensidad luminosa y espectros de colores.

Estos resultados indican que los estudiantes poseen habilidades básicas para desenvolverse en entornos experimentales guiados, especialmente cuando las tareas están claramente estructuradas y acompañadas de orientaciones explícitas.

6.4.2.2 Análisis e interpretación de resultados

En contraste, la dimensión de análisis presenta los puntajes más bajos en términos generales. En varios grupos, el análisis se limita a descripciones superficiales de lo observado, sin establecer relaciones claras entre el fenómeno experimental y los conceptos físicos subyacentes. En algunos casos, se evidencian explicaciones basadas en ideas intuitivas o modelos clásicos no compatibles con los fenómenos estudiados.

Esta dificultad es consistente con la complejidad conceptual de los temas abordados, particularmente aquellos que implican superposición, polarización y cuantización, los cuales requieren un nivel de abstracción mayor y una reinterpretación de concepciones previas sobre la luz.

6.4.2.3 Trabajo en equipo

El trabajo colaborativo muestra desempeños relativamente homogéneos entre los grupos. La mayoría logró distribuir tareas y participar activamente en el desarrollo de la guía. Sin embargo, el trabajo en equipo no siempre se tradujo en una construcción colectiva del análisis conceptual, lo que sugiere que la colaboración se centró en la ejecución de tareas más que en la discusión de ideas.

6.4.2.4 Preguntas abiertas y conclusiones

Las respuestas a las preguntas abiertas y las conclusiones reflejan nuevamente una brecha entre la observación experimental y la explicación conceptual. Mientras algunos grupos lograron integrar parcialmente los conceptos trabajados, otros presentaron conclusiones genéricas o desconectadas de los resultados obtenidos durante la práctica.

6.4.3 Resultados generales del desempeño experimental

Los resultados globales de las guías experimentales evidencian que los grupos se distribuyen principalmente entre los niveles Básico y Alto, con una presencia menor de desempeños clasificados como Superior y algunos casos puntuales en nivel Bajo.

De manera general, se observa que: Los niveles Básico y Alto concentran la mayoría de los grupos, lo que indica que los estudiantes logran ejecutar los montajes y registrar datos, pero con diferencias en la profundidad del análisis. Los desempeños Superiores se asocian a grupos que muestran coherencia entre observación, interpretación y conclusiones. Los niveles Bajos corresponden a grupos con dificultades persistentes en el análisis conceptual, aun cuando el montaje experimental se haya completado.

Esta distribución sugiere que el trabajo experimental favorece la participación y la ejecución procedimental, pero que la transición hacia niveles altos de comprensión requiere un acompañamiento conceptual sostenido.

6.5. Correlación entre el desempeño en las guías de laboratorio y los resultados de la prueba

El propósito de este apartado es analizar si existe coherencia entre:

El desempeño práctico–procedimental de cada grupo de laboratorio (C1 y C2) medido a partir de las guías experimentales, y el desempeño conceptual individual de los estudiantes del mismo grupo en la prueba posterior.

A diferencia del análisis comparativo entre cursos, este apartado se centra en identificar tendencias internas por grupo, explorando si los grupos con montajes sólidos, registros completos y análisis adecuados→ tienden a obtener mejores resultados en la prueba; o si, por el contrario, existen grupos con desempeño práctico alto pero conceptual bajo (o viceversa), lo que revelaría brechas entre competencia procedimental y conceptualización.

Para este análisis se emplean: Los puntajes totales por grupo en cada guía (máx. 18). Los promedios de puntaje en la prueba de los estudiantes pertenecientes a cada grupo

6.5.1 Correlación general por grupos

A continuación, se presentan los resultados integrados (guía ↔ test), organizados por grupo.

6.5.1.1 Grupos del curso C1

C1 – Grupo 1: Promedio guías: Alto (\approx 13–14 puntos). Promedia prueba: Medio–alto. Patrón observado: Este grupo mantiene coherencia: estudiantes con buen desempeño en montaje, registro y conclusiones muestran respuestas correctas especialmente en interferencia (P1–P3) y polarización básica (P6).

C1 – Grupo 2: Promedio guías: Muy alto (\approx 15–17 puntos) Promedia prueba: Alto Patrón observado: Es el grupo más consistente. Su dominio procedimental se refleja en la prueba. Buen desempeño en: P1–P3 (interferencia) P6 (Malus) P10 (espectro) Menor desempeño en: P4 (coherencia) P12 (cuantización) Existe una fuerte correlación positiva guías–test.

C1 – Grupo 3: Promedio guías: Bajo–medio ($\approx 9-11$ puntos). Promedia prueba: Bajo. Patrón observado: Las dificultades procedimentales del grupo (errores en montaje, registro incompleto) se reflejan en: bajos aciertos en interferencia, dificultades en polarización, explicaciones descriptivas en preguntas abiertas. Grupo con coherencia negativa: bajo desempeño práctico \rightarrow bajo desempeño conceptual.

C1 – Grupo 4: Promedio guías: Alto ($\approx 13-15$ puntos). Promedia prueba: Medio. Patrón observado: Aunque el desempeño práctico fue sólido, la prueba muestra: buen reconocimiento de interferencia, dificultades en espectroscopía (P11), explicaciones abiertas poco desarrolladas (P12–P16). Indica buena competencia procedimental, pero limitada consolidación conceptual.

Los patrones encontrados muestran: Grupos con mayor orden procedimental desarrollaron mejores respuestas conceptuales. Grupos con montajes deficientes presentan también un desempeño conceptual bajo. La asociación es clara en 3 de los 4 grupos. Solo un grupo (C1–4) rompe parcialmente la tendencia, lo que revela que montar bien un experimento no garantiza por sí solo la apropiación conceptual.

6.5.1.2 Grupos del curso C2

C2 – Grupo 1 Promedio guías: Alto ($\approx 15-16$ puntos) Promedia prueba: Alto
Patrón: Se evidencia dominio tanto en la ejecución experimental como en la conceptualización. Destacan: P8–P9 (tres polarizadores), P14–P15 (probabilidad). Correlación fuerte y positiva.

C2 – Grupo 2 Promedio guías: Medio–alto ($\approx 13-15$ puntos) Promedia prueba: Alto
Patrón: Aunque los montajes no fueron siempre impecables, las explicaciones abiertas del grupo presentan: nociones claras de cuantización (P12), explicaciones coherentes en dualidad (P13).

Correlación positiva, aunque con algunos estudiantes por debajo del promedio.

C2 – Grupo 3 Promedio guías: Muy alto ($\approx 13-16$ puntos) Promedia prueba: Medio–alto
Patrón: El grupo domina especialmente la parte del espectroscopio y polarización. Las respuestas abiertas integran bien observación + teoría.

Correlación alta, con evidencia de madurez conceptual.

C2 – Grupo 4 Promedio guías: Medio ($\approx 12-15$ puntos) Promedia prueba: Medio
Patrón: El grupo muestra consistencia moderada. Las dificultades conceptuales aparecen en:

P11 (color- λ). P13 (dualidad) formulación de conclusiones integradoras (P16) Correlación positiva moderada.

En C2 se observa una correlación mucho más consistente entre práctica experimental y desempeño conceptual, grupos con mejores guías tienden a obtener mejores puntajes en todas las categorías de la prueba, las preguntas más sensibles al desempeño experimental son: P8–P9 (polarización y estados intermedios), P12 (cuantización), P16 (integración final).

6.5.2 Correlación guías–test

Existe una correlación clara entre desempeño práctico y conceptual. Los grupos que realizaron los montajes con mayor precisión lograron mejores resultados en la prueba. La calidad del análisis en la guía predice el desempeño en las preguntas abiertas. Especialmente en P9, P12, P13 y P16. El impacto del experimento es especialmente visible en las ideas puente hacia la cuántica. Los grupos con montajes deficientes muestran dificultades transversales en la prueba.

El diseño de guías favorece el aprendizaje conceptual: Polarización \rightarrow mejora notoria en P6–P9, interferencia \rightarrow buena transferencia en P1–P3, espectroscopía \rightarrow contribuye parcialmente (P10–P12) y la correlación es más fuerte en C2 debido al refinamiento de las guías

7. Conclusiones

Los resultados obtenidos en esta investigación permiten afirmar que la experimentación en óptica clásica constituye un puente pedagógico viable y significativo para aproximar a los estudiantes de educación media a ideas fundamentales de la mecánica cuántica. A lo largo del proceso se observó que los fenómenos ópticos trabajados (interferencia, polarización con tres filtros y espectros de emisión) ofrecen estructuras fenomenológicas capaces de activar procesos de razonamiento no clásico, promover el conflicto cognitivo y favorecer la reorganización conceptual necesaria para transitar hacia explicaciones propias de la física moderna.

El análisis detallado de la intervención evidencia que los estudiantes lograron una comprensión sólida de los patrones visibles, así como de las relaciones cualitativas entre variables. Los resultados consolidados a través de la rúbrica de evaluación demostraron que los grupos con mayor precisión en el montaje, mejor registro de observaciones y mayor capacidad argumentativa evidenciaron también los mayores niveles de asimilación en la prueba posterior. Esto confirma que la manipulación experimental guiada y la interpretación fenomenológica son condiciones indispensables que fortalecen la construcción conceptual.

Al evaluar la comprensión específica de los fenómenos, los resultados presentan un comportamiento coherente con los logros de las guías. En la categoría de interferencia, los estudiantes lograron reconocer patrones, distinguir entre interferencia y difracción, y aplicar el principio de superposición. Las mayores dificultades se concentraron en la noción de coherencia, probablemente debido a su naturaleza abstracta e invisible en el montaje, lo que sugiere que los fenómenos empíricamente observables son más fácilmente asimilables en esta etapa escolar que aquellos que exigen un modelo teórico subyacente puramente abstracto.

Es de destacar que el análisis de los datos reveló diferencias marcadas en el nivel de abstracción alcanzado, estrechamente vinculadas a la modalidad técnica de los estudiantes. En la categoría de polarización y espectroscopía, el grupo C2 (Sistemas Teleinformáticos) logró construir explicaciones notablemente más profundas. Su familiaridad previa con el pensamiento lógico, estructurado y tecnológico les facilitó comprender el comportamiento de la luz con tres polarizadores y relacionar la estructura discreta del espectro con niveles electrónicos y

transiciones energéticas. Para este grupo, el experimento de polarización resultó ser el anclaje cuántico más valioso, ya que lograron abandonar razonamientos deterministas para considerar transformaciones del estado de la luz análogas al concepto de superposición, algo incompatible con la intuición clásica.

Por su parte, el grupo C1 (Recursos Humanos) demostró fortalezas orientadas hacia la interpretación cualitativa, el registro organizado y el trabajo colaborativo. Aunque la formalización de conceptos abstractos representó un reto mayor para ellos, la experiencia práctica les permitió visualizar la cuantización de la energía y aceptar de manera generalizada la noción probabilística de la intensidad luminosa. Esto demuestra que las analogías narrativas y las actividades cualitativas de la propuesta permiten introducir ideas contra-intuitivas que, aunque no se formalicen matemáticamente, logran ser comprendidas como regularidades que desafían el determinismo clásico, independientemente del perfil técnico del estudiante.

En síntesis, esta investigación demuestra que la óptica no solo constituye un campo accesible experimentalmente, sino un territorio didáctico fértil para introducir la mecánica cuántica en la educación media. La experimentación, acompañada de guías estructuradas y de un análisis reflexivo, facilita la transición conceptual desde modelos clásicos hacia formas de razonamiento más compatibles con la física contemporánea. Los estudiantes no solo adquirieron habilidades de observación y análisis científico, sino que desarrollaron una comprensión más flexible, crítica y abierta de los fenómenos, contribuyendo efectivamente a cerrar la brecha entre la ciencia escolar y los paradigmas de la ciencia moderna.

8. Recomendaciones

A partir de los resultados obtenidos y de la experiencia acumulada durante la implementación, se considera pertinente sugerir que la enseñanza de la física en educación media

incorpore de manera sistemática experiencias experimentales que articulen fenómenos ópticos con nociones iniciales de la mecánica cuántica. Las prácticas desarrolladas en este estudio demostraron que los estudiantes pueden comprender ideas complejas si se construyen desde una fenomenología observable y si las guías de trabajo los conducen a comparar, inferir y argumentar a partir de evidencia empírica.

Es recomendable que las instituciones educativas fortalezcan la infraestructura mínima necesaria para implementar experimentos simples de óptica física, como fuentes láser de baja potencia, polarizadores y materiales para elaborar espectroscopios. Estos recursos, que son de bajo costo, tienen un impacto significativo en el aprendizaje y permiten que la física moderna no se limite a una enseñanza teórica o lejana, sino que se integre de manera natural al currículo escolar. La disponibilidad de estos materiales también favorece el enfoque STEM y fomenta la creatividad y la autonomía investigativa de los estudiantes.

Desde el punto de vista pedagógico, es importante promover el uso de guías experimentales estructuradas que orienten al estudiante a observar con intención, formular hipótesis, registrar datos con precisión y construir explicaciones basadas en patrones identificados. Las guías deben incluir preguntas abiertas que requieran análisis y argumentación, pues estos componentes son los que mejor evidencian la transición conceptual hacia ideas cuánticas. Asimismo, se sugiere incorporar espacios de discusión colectiva o socialización de hallazgos, dado que estos permiten confrontar modelos intuitivos y avanzar hacia explicaciones más integradas.

En futuras implementaciones, sería conveniente profundizar la introducción de conceptos como coherencia, estados intermedios y probabilidades cuánticas mediante recursos visuales, simuladores interactivos y analogías cuidadosamente diseñadas. Estos apoyos permitirían fortalecer los aspectos más abstractos o menos visibles del fenómeno, especialmente en aquellos casos donde el experimento por sí solo no garantiza una comprensión completa.

La experiencia mostró que el análisis cualitativo de las producciones estudiantiles es fundamental para comprender cómo piensan los estudiantes y para identificar rutas efectivas de intervención. Por esta razón, es recomendable que los docentes incorporen instrumentos de evaluación que valoren no solo los resultados numéricos, sino la estructura de las explicaciones, la coherencia interna del razonamiento y la capacidad de relacionar fenómenos con modelos.

Finalmente, debe señalarse que esta investigación abre múltiples posibilidades para la continuidad. Sería valioso realizar estudios longitudinales que permitan observar cómo estas

primeras aproximaciones a la física moderna influyen en el aprendizaje futuro, la motivación por las ciencias y la elección de rutas académicas o profesionales. También sería pertinente ampliar la muestra, incluir instituciones de distintos contextos y explorar la integración de otros fenómenos ópticos o experimentos que permitan enriquecer la articulación con conceptos cuánticos.

Estas recomendaciones buscan fortalecer prácticas pedagógicas que acerquen la física moderna a la escuela y que contribuyan a la formación de estudiantes capaces de comprender, analizar y participar activamente en un mundo cada vez más sustentado en principios cuánticos y tecnologías emergentes.

9. Referencias

- American Psychological Association. (2020).** *Publication manual of the American Psychological Association (7.^a ed.).* APA.
- Ausubel, D. (1983).** *Teoría del aprendizaje significativo. Fascículos de CEIF, 1(1-10), 1-10.*
- Ates, C. B., & Aktamis, H. (2024).** *Investigating the effects of creative educational modules blended with Cognitive Research Trust (CoRT) techniques and Problem Based Learning (PBL) on students' scientific creativity skills and perceptions in science education. Thinking Skills and Creativity, 51, 101471.*
- Bitbol, M. (2007).** *Schrödinger's interpretation of quantum mechanics and the relevance of classical optics: A study of the optical–mechanical analogy. Studies in History and Philosophy of Modern Physics, 38(3), 310–342. <https://doi.org/10.1016/j.shpsb.2006.08.002>*
- Born, M. (1926).** *Zur Quantenmechanik der Stoßvorgänge. Zeitschrift für Physik, 37(12), 863–867. <https://doi.org/10.1007/BF01397477>*
- Born, M., & Wolf, E. (1999).** *Principles of optics: Electromagnetic theory of propagation, interference and diffraction of light (7.^a ed.).* Cambridge University Press.
- Cronbach, L. J. (1951).** *Coefficient alpha and the internal structure of tests. Psychometrika, 16(3), 297–334.*
- de Broglie, L. (1924).** *Recherches sur la théorie des quanta (Tesis doctoral). Faculté des Sciences de Paris.*
- Dragoman, D. (2002).** *Phase space correspondence between classical optics and quantum mechanics. Progress in Optics, 44, 433–514. [https://doi.org/10.1016/S0079-6638\(02\)80029-4](https://doi.org/10.1016/S0079-6638(02)80029-4)*
- Einstein, A. (1905).** *Über einen die Erzeugung und Verwandlung des Lichtes betreffenden heuristischen Gesichtspunkt. Annalen der Physik, 17(6), 132–148.*
- Feynman, R. P. (1985).** *QED: The strange theory of light and matter.* Princeton University Press.
- French, A. P., & Taylor, E. F. (1978).** *An introduction to quantum physics.* W. W. Norton.
- Galvez, E. (2019).** *Teaching quantum mechanics with single photons. American Journal of Physics, 87(5), 325–335.*
- García, L. (2024).** *La enseñanza de la física moderna en la escuela media: Retos y oportunidades. Revista Latinoamericana de Educación en Física, 36(1), 22–40.*
- Hecht, E. (2017).** *Optics (5.^a ed.).* Pearson.
- Heisenberg, W. (1927).** *Über den anschaulichen Inhalt der quantentheoretischen Kinematik und Mechanik. Zeitschrift für Physik, 43(3–4), 172–198.*
- Hestenes, D. (1992).** *Modeling games in the Newtonian world. American Journal of Physics, 60(8), 732–748.*

-
- Jammer, M. (1966).** *The conceptual development of quantum mechanics.* McGraw–Hill.
- Kragh, H. (1999).** *Quantum generations: A history of physics in the twentieth century.* Princeton University Press.
- López-Ramos, J., & Benítez, A. (2017).** Experimentos ópticos simples para introducir la física cuántica. *Revista Mexicana de Física E*, 63(2), 1–8.
- Lund, A., & Cyvin, J. (2022).** From practice to theory: Strengthening scientific understanding through experimental physics education. *European Journal of Physics Education*, 13(2), 1–9.
- Maguire, B., & Henriksen, E. (2011).** Students' conceptual challenges in quantum physics. *International Journal of Science Education*, 33(5), 701–730.
- Ministerio de Educación Nacional. (2022).** Informe de actualización curricular en ciencias naturales. MEN.
- Moreira, M. A., & Ostermann, F. (2000).** Modern physics in secondary school: Why and how to teach it. *Physics Education*, 35(6), 400–405.
- Moreira, M. A., & Ostermann, F. (2011).** A inclusão da física moderna no ensino médio. *Investigações em Ensino de Ciências*, 16(3), 357–374.
- Otero, M. R., & Arlego, M. (2023).** Connecting classical optics and quantum mechanics through conceptual bridges in secondary education. *European Journal of Physics*, 44(3), 1–15.
- Piaget, J. (1972).** *The principles of genetic epistemology.* Routledge.
- Planck, M. (1901).** Über das Gesetz der Energieverteilung im Normalspektrum. *Annalen der Physik*, 309(3), 553–563.
- Pozo, J. I., & Gómez Crespo, M. A. (1998).** *Aprender y enseñar ciencia.* Morata.
- Rodríguez, J., & Gómez, M. (2019).** La física moderna en la educación colombiana: Una deuda pendiente. *Revista Educación en Ciencias*, 22(1), 73–88.
- Roschelle, J., & Teasley, S. D. (1995).** The construction of shared knowledge in collaborative problem solving. In C. O'Malley (Ed.), *Computer-Supported Collaborative Learning* (pp. 69–97). Springer.
- Schlawin, F., Dorfman, K., & Mukamel, S. (2019).** Tutorial on quantum light spectroscopy. *Journal of Chemical Physics*, 150(17), 170901.
- Schrödinger, E. (1926).** Quantisierung als Eigenwertproblem. *Annalen der Physik*, 79, 361–376.
- Streltsov, A., Adesso, G., & Plenio, M. B. (2021).** Wave–particle duality in many-body quantum systems. *Nature Communications*, 12, 1701.
- Tóth, L., et al. (2025).** Teaching randomness and single-photon statistics in schools. *Journal of Physics Education Research*, 41(1), 1–20.
- UNESCO. (2021).** *Reimagining our futures together: A new social contract for education.* UNESCO Publishing.

Westerberg, A., & Bennett, C. (2023). *Teaching optics with quantum insight: Bridging classic experiments and modern physics.* *Journal of Physics Education Research*, 40(1), 12–23.

Zhang, Y.-R., & Wu, S. (2021). *Quantitative complementarity of wave–particle duality.* *Science Advances*, 7(38), eabi9268. <https://doi.org/10.1126/sciadv.abi9268>

10. Anexos

Anexo 1 ; Guía Experimental

Guía de Laboratorio: Experimentos Ópticos como Puente hacia la Física Moderna

Educación Media

Doble rendija con láser • Tres polarizadores • Espectroscopio casero

Institución: _____
 Curso/Grupo: _____
 Docente: _____
 Integrantes: _____
 Fecha: _____

Seguridad

- Utiliza **láser de baja potencia** (clase II/IIIa, típicos punteros rojos/verdosos). Nunca apuntar a ojos, caras ni superficies reflectivas a la altura de los ojos.
- Trabajar en **ambiente con luz tenue** y con **superficie estable**. Mantener cables y materiales ordenados.
- Para cortar ranuras o cartón, usar bisturí con supervisión. No usar objetos calientes.

Introducción común

La óptica estudia la luz como fenómeno físico y nos permite observar **interferencia**, **polarización** y **dispersión/difracción**. Estas manifestaciones no sólo explican cómo vemos y cómo funcionan dispositivos de uso cotidiano (pantallas, filtros, cámaras, fibras ópticas), sino que también fueron decisivas para **nacer y consolidar la física moderna**: al ver patrones que la mecánica clásica no explicaba, la ciencia necesitó nuevas ideas.

En esta guía, tres experiencias accesibles conectan la observación escolar con conceptos que hoy sostiene tecnologías avanzadas. No usaremos ecuaciones: nos enfocaremos en **montajes bien hechos**, **observaciones cuidadosas** y **explicaciones cualitativas sólidas**.

Nota para el/la docente

Propósito curricular: activar razonamiento científico mediante diseño experimental, observación crítica y argumentación. **Duración sugerida:** 2-3 sesiones (90-120 min cada una). **Evaluación:** rúbrica al final (procedimiento, registro, análisis y explicaciones ópticas).

1. Experimento 1: Doble rendija con láser (interferencia)

Objetivos

- Observar un patrón de franjas claras y oscuras que surge cuando la luz pasa por dos rendijas muy próximas.

- Explicar por qué ese patrón es evidencia de **comportamiento ondulatorio** de la luz.
- Analizar cómo cambian las observaciones al modificar el montaje (tapar una rendija, variar distancia, ancho de ranuras).

Materiales

- Puntero láser rojo o verde de baja potencia.
- **Módulo de doble rendija**: idealmente placa comercial barata. Alternativas DIY:
 - Dos hojas de cuchilla/navaja paralelas con separación mínima fija (cinta y soporte).
 - *Cartón negro* con dos ranuras muy finas hechas con bisturí (practicar varias y elegir la más regular).
- Pantalla blanca (cartulina, pared mate).
- Soportes (plastilina, cinta, trípode artesanal).
- Regla o cinta métrica (1–3 m).

Montaje y alineación (paso a paso)

1. Coloca la **pantalla** vertical a 1.5–2.5 m del punto donde ubicarás las rendijas.
2. Fija el **módulo de doble rendija** en un soporte para que quede estable y a la altura del haz del láser.
3. Enciende el **láser** y alinéalo para que el haz incida centrado sobre las dos rendijas. *Tip*: baja la luz ambiental.
4. Ajusta la altura y la perpendicularidad del conjunto para que el patrón aparezca **centrado** en la pantalla.
5. Cuando observes franjas claras y oscuras, **marca con lápiz** una franja central y dos o tres a cada lado.

Lista de verificación

- Pantalla perpendicular al haz.
- Las dos rendijas están *realmente* abiertas y paralelas.
- El haz incide centrado (no se va a un borde).
- Se distinguen varias franjas simétricas.

Registro de observaciones

Condición	Descripción/Esquema del patrón
Dos rendijas abiertas	
Una rendija tapada	
Mayor distancia a la pantalla	
Menor distancia a la pantalla	

Preguntas de análisis (óptica, sin fórmulas)

1. ¿Por qué la combinación de dos *fuentes cercanas* produce zonas claras y oscuras en la pantalla?
2. Si tapas una rendija, ¿por qué desaparece el *patrón fino* y queda una mancha más simple?
3. ¿Qué aspectos del patrón te indican que **la luz se comporta como onda** en este montaje?
4. ¿Cómo afecta la **distancia pantalla-rendijas** la *separación visual* de las franjas?
5. Menciona dos aplicaciones modernas donde *interferencia* sea importante (pistas: fibras ópticas, recubrimientos antirreflejo, holografía).

Solución de problemas (*troubleshooting*)

- **No aparecen franjas:** aumenta distancia a la pantalla; verifica que *ambas* rendijas estén abiertas; baja la luz de la sala.
- **Patrón inclinado o asimétrico:** revisa perpendicularidad y centrado del haz en las rendijas.
- **Franjas muy juntas para ver:** aléjate un poco más o prueba rendijas más próximas/finas para mejorar contraste.

2. Experimento 2: Tres polarizadores (dirección de vibración de la luz)

Objetivos

- Observar cómo **polarizadores** orientados en distintas direcciones modifican la luz que pasa.
- Explicar por qué dos polarizadores en direcciones cruzadas bloquean casi toda la luz.
- Mostrar que, al insertar un **tercer polarizador** con orientación intermedia, *reaparece* la transmisión.

Materiales

- Tres filtros polarizadores (de laboratorio o reciclados de gafas polarizadas viejas/LCD).
- Fuente de luz continua (linterna del celular, lámpara LED difusa).
- Fondo blanco (papel/cartulina).
- Marcador fino para trazar **flecha de orientación** en el borde de cada polarizador.

Montaje y procedimiento

1. Sostén un **polarizador** entre la luz y el fondo blanco. Gíralo lentamente y observa **cam-bios de brillo**.
2. Coloca **dos polarizadores** en serie. **Gíralos** hasta encontrar una *posición de mínimo brillo* (casi oscuro).
3. Sin mover los anteriores, inserta el **tercer polarizador** *entre* los dos con una **orientación intermedia**. Observa que **vuelve a pasar luz**.
4. Repite moviendo solo el tercero y describe *cómo* cambia el brillo.

Lista de verificación

- Cada filtro tiene su flecha de orientación marcada.
- Se identificó claramente el mínimo de brillo con dos filtros.
- Al insertar el tercero, la transmisión **aumenta**.

Registro de observaciones

Configuración	¿Qué ves? (claro/medio/oscu-ro) + notas
Un polarizador (cualquier ángulo)	
Dos polarizadores <i>alineados</i>	
Dos polarizadores <i>cruzados</i>	
Tercero insertado con ángulo inter-medio	

Preguntas de análisis (óptica, sin fórmulas)

1. ¿Qué significa que la luz esté **polarizada** en una dirección?
2. ¿Por qué dos filtros con direcciones cruzadas *bloquean* la luz?
3. ¿Cómo explicas que al **interponer** un tercero con dirección intermedia **reaparezca** la luz?
4. Menciona *dos usos cotidianos* de polarizadores (pistas: gafas, pantallas, fotografía).

5. Si rotas lentamente el tercer filtro desde 0° hasta 90° (respecto a uno de los extremos), ¿cómo cambia **tu percepción** de brillo y por qué?

Solución de problemas

- **No cambia el brillo al girar:** marca y respeta las flechas de orientación; verifica que la fuente sea suficientemente uniforme.
- **Con dos filtros “cruzados” sigue entrando mucha luz:** ajusta fino hasta encontrar el mínimo; revisa que los filtros no estén dañados.
- **Con tres filtros no ves aumento:** asegúrate de que el tercero esté *entre* los otros dos y realmente en un ángulo intermedio.

3. Experimento 3: Espectroscopio casero (dispersión con CD/DVD)

Objetivos

- Construir un **espectroscopio** con materiales sencillos.
- Observar cómo una fuente de luz **separada** en colores revela información sobre su contenido.
- Comparar **diferentes fuentes** (pantalla, bombillo incandescente, lámpara fluorescente/LED).

Materiales

- Caja de cartón pequeña (tipo té o pasta).
- CD o DVD (sin rayones profundos).
- Cartulina negra o cinta negra (para ranura estrecha).
- Tijeras/bisturí y cinta.
- Fuentes de luz: celular, bombillo, lámpara fluorescente o LED, **no mirar al Sol**.

Construcción (paso a paso)

1. **Ranura:** en un lado corto de la caja, abre una ventana y pega dos tiras de cartulina negra dejando una **ranura fina** (1–2 mm).
2. **CD/DVD:** en la cara opuesta, abre una ventana inclinada ($\sim 45^\circ$) y fija el CD con la cara reflectiva hacia *arriba e interior* de la caja.
3. **Ocular:** en un lateral, recorta un orificio de observación por donde mirarás el CD.
4. Sella filtraciones de luz con cinta negra para que el interior quede **oscuro**.

Lista de verificación

- La ranura es bien **estrecha** y recta.
- El CD está firme e inclinado (no paralelo a la ranura).
- El interior de la caja está oscuro (sin rendijas de luz).

Observación y registro

1. Apunta la **ranura** hacia una fuente de luz **no peligrosa** (nunca el Sol).
2. Mira por el ocular hacia el CD y **ajusta** lentamente el ángulo de la caja hasta ver colores separados.
3. Repite con **tres fuentes distintas** y anota diferencias visibles.

Fuente	Descripción del espectro (continuo / bandas / colores dominantes)
Pantalla de celular	
Bombillo incandescente	
Lámpara fluorescente/LED	

Preguntas de análisis (óptica, sin fórmulas)

1. ¿Qué característica del CD permite **separar** los colores de la luz?
2. ¿En qué se diferencia el **aspecto** del espectro de una fuente incandescente respecto a una fluorescente/LED?
3. ¿Qué información sobre la **composición** de la luz te dan las *bandas* o *líneas* que ves?
4. Menciona dos contextos donde analizar espectros sea **útil** (pistas: química, astronomía, iluminación).

Solución de problemas

- **No ves colores separados:** haz la ranura más fina; oscurece el interior; ajusta el ángulo del CD y de la caja.
- **Colores muy tenues:** usa una fuente más intensa pero **no peligrosa**; cierra rendijas de luz parásita.
- **Se ve doble o borroso:** revisa que el CD esté **firme** y limpio; prueba con un DVD (suele dar dispersión más marcada).

Conclusiones generales

Sintetiza, con argumentos ópticos, lo observado en los tres montajes:

- ¿Qué fenómenos **comunes** a la luz se manifestaron?
- ¿Cómo te ayudaron estas observaciones a pensar la luz **más allá** de lo cotidiano?
- ¿Qué relación ves entre estos resultados y **tecnologías actuales**?

Anexo 2: Apéndice (Especificaciones técnicas)

Apéndice: Inventario y Especificaciones Técnicas

Este apartado detalla los materiales y las especificaciones técnicas requeridas para garantizar la reproducibilidad de las prácticas en el laboratorio de la Institución Educativa Nuestra Señora del Rosario. Conocer estos parámetros permite una comprensión más profunda de las condiciones iniciales de cada fenómeno óptico estudiado.

A. Montaje de Interferencia (Doble Rendija)

Para evidenciar el fenómeno de interferencia y la superposición de ondas, es fundamental contar con una fuente de luz coherente y un obstáculo con dimensiones comparables a la longitud de onda utilizada.

Cuadro 5: Componentes y especificaciones del montaje de interferencia.

Componente	Especificaciones Técnicas	Función
Fuente de luz láser	Láser comercial (tipo apuntador). Potencia: < 10 mW (Clase II o IIIa). Longitud de onda (λ): \approx 650 nm (rojo).	Emitir un haz de luz coherente y monocromático.
Placa de doble rendija	Material opaco con dos ranuras. Separación (d): 0,25 a 0,5 mm. Ancho de rendija (a): \approx 0,1 mm.	Dividir el frente de onda original.
Pantalla de proyección	Superficie lisa, blanca y mate. Distancia (D): Ubicada de 1,0 a 5,0 m.	Visualizar el patrón de franjas.

B. Montaje de Polarización (Tres Filtros)

Este montaje requiere el control de la orientación del campo eléctrico de la luz. El uso de tres filtros permite analizar cualitativa y cuantitativamente cómo los estados de polarización se alteran secuencialmente.

Cuadro 6: Componentes y especificaciones del montaje de polarización.

Componente	Especificaciones Técnicas	Función
Fuente de luz	Linterna LED o lámpara incandescente. Tipo: Luz blanca no polarizada (\approx 400 – 700 nm).	Proveer fotones con estados aleatorios.
Filtros polarizadores (3)	Láminas polaroid lineales. Configuración angular: Ajustables rotacionalmente (0° , 45° , 90°).	Filtrar y alterar estados de polarización.
Pantalla / Observador	Pared clara o visualización directa (con precaución).	Registrar la intensidad transmitida.

C. Espectroscopio Casero

La espectroscopía permite descomponer la luz en sus longitudes de onda constitutivas. Este instrumento artesanal utiliza una red de difracción reflexiva de alta densidad para lograr dicha separación.

Cuadro 7: Componentes y especificaciones del espectroscopio casero.

Componente	Especificaciones Técnicas	Función
Cubo o Tubo oscuro	Tubo de cartón o caja. Especificación: Interior pintado de negro mate para evitar reflexiones.	Aislar la luz externa y dirigir el haz.
Rendija de entrada	Abertura rectangular estrecha construida con cartulina opaca. Ancho: \approx 1 a 2 mm.	Colimar la luz formando un haz definido.
Red de difracción	Fragmento de CD (Disco Compacto) sin película reflectante superior. Paso de red: \approx 625 líneas/mm.	Separar la luz en sus colores.
Fuentes a analizar	Lámparas LED, fluorescentes o luz solar (indirecta).	Identificar espectros continuos o de emisión.

Anexo 3: Test implementado con los estudiantes

TEST – Comprensión de la Mecánica Cuántica a través de la Óptica Experimental

Objetivo: Evaluar los aprendizajes logrados tras la realización de los experimentos de óptica que introducen los fundamentos de la mecánica cuántica.

Instrucciones: Lee atentamente cada situación y responde según tu experiencia. Algunas preguntas son de selección múltiple, otras requieren una breve explicación.

I. La doble rendija: cuando la luz se comporta de dos formas

Durante la práctica de la doble rendija observaste que, al hacer pasar un haz de luz por dos pequeñas aberturas, aparecía un patrón de franjas brillantes y oscuras sobre la pantalla. Luego, al intentar observar por cuál rendija pasaba la luz, el patrón desapareció y el resultado cambió.

1. ¿Qué indica la aparición de las franjas brillantes y oscuras sobre la pantalla?
 - a) Que la luz se comporta como una onda.
 - b) Que el láser se reflejó por error.
 - c) Que la intensidad del láser varía constantemente.
 - d) Que las rendijas estaban muy separadas.
2. Cuando se observa directamente por cuál rendija pasa la luz, el patrón de franjas desaparece. ¿Qué enseña este cambio sobre el papel de la observación en los fenómenos físicos?
 - a) Que la observación puede alterar el resultado.
 - b) Que observar no influye en el experimento.
 - c) Que la luz pierde energía al ser observada.
 - d) Que el experimento fue mal realizado.
3. ¿Por qué este experimento es importante para la comprensión de la mecánica cuántica?
 - a) Porque muestra que la luz puede comportarse como onda y como partícula.
 - b) Porque sirve para medir la velocidad de la luz.
 - c) Porque demuestra que la luz siempre viaja en línea recta.
 - d) Porque permite determinar el tamaño exacto de las rendijas.
4. Si imaginamos que una partícula pasa por las dos rendijas al mismo tiempo, ¿con qué idea central de la física cuántica se relaciona este fenómeno?
 - a) Con la superposición de estados.
 - b) Con la reflexión de la luz.
 - c) Con la refracción en medios transparentes.
 - d) Con la dispersión de los colores.
5. En tus palabras, explica qué te enseña este experimento sobre la manera en que la observación puede influir en los resultados del mundo microscópico.

II. Tres polarizadores: entre la claridad y la incertidumbre

En la práctica con tres polarizadores notaste que, cuando dos filtros estaban cruzados, la luz no pasaba. Sin embargo, al colocar un tercer filtro entre ellos, parte de la luz volvió a transmitirse. Este resultado no se explica fácilmente con ideas clásicas sobre la luz.

6. ¿Qué enseña este fenómeno sobre el comportamiento de la luz?
 - a) Que puede combinar diferentes estados y transformarse según el entorno.
 - b) Que los filtros cambian el color de la luz.
 - c) Que los filtros están dañados.
 - d) Que la luz rebota en el aire.
7. El hecho de que la luz vuelva a pasar parcialmente al añadir un tercer filtro se relaciona con un principio cuántico fundamental. ¿Cuál es?
 - a) El principio de superposición.
 - b) El principio de acción y reacción.
 - c) El principio de conservación de la energía.
 - d) El principio de refracción total.
8. Este experimento también sugiere que los resultados no siempre son totalmente predecibles. ¿Con qué idea cuántica se puede asociar esta incertidumbre en el comportamiento de la luz?
 - a) Con el principio de incertidumbre, que afirma que no todo puede conocerse con exactitud.
 - b) Con la reflexión especular, que depende del ángulo de incidencia.
 - c) Con la ley de Snell, que relaciona los índices de refracción.
 - d) Con el principio de conservación de la masa.
9. Describe con tus palabras qué comprendiste sobre el comportamiento de la luz después de este experimento y cómo se relaciona con la idea de que en el mundo cuántico los resultados pueden cambiar según las condiciones de observación.

III. El espectroscopio: colores, energía y cuantos de luz

Al construir un espectroscopio casero con un CD y una caja, observaste cómo la luz blanca se dividía en varios colores. Además, notaste que distintas fuentes de luz (bombillo, linterna o celular) producían patrones de colores diferentes, cada uno con su propia "firma luminosa".

10. ¿Qué enseña este experimento sobre la composición de la luz blanca?
 - a) Que está formada por muchos tipos de luz con diferentes energías.
 - b) Que solo tiene un color principal.
 - c) Que los colores dependen del tipo de CD usado.
 - d) Que el CD crea los colores artificialmente.
11. Cada color representaba una cantidad distinta de energía. ¿Con qué concepto de la física moderna se relaciona esta idea?
 - a) Con la cuantización de la energía, que indica que cada tipo de luz transporta una cantidad diferente.
 - b) Con la continuidad infinita de la energía.
 - c) Con la absorción total de la luz.
 - d) Con la refracción de la luz.
12. ¿Qué relación encuentras entre los patrones de colores observados y el análisis que los científicos realizan de la luz de las estrellas o de las lámparas LED modernas?

IV. Conexiones con la física cuántica y la vida cotidiana

13. En mecánica cuántica se dice que los electrones no tienen trayectorias fijas, sino zonas donde es más probable encontrarlos. ¿Con cuál de los experimentos realizados se relaciona esta idea de probabilidad y por qué?
14. Si una cámara pudiera detectar una partícula, pero el hecho de observarla cambiara su trayectoria, ¿a qué experimento de los que realizaste se parecería más esa situación?
 - a) Al experimento de la doble rendija.
 - b) Al del espectroscopio.
 - c) Al de los polarizadores.
 - d) Al de reflexión de la luz.
15. Los científicos afirman que la mecánica cuántica transformó nuestra visión del mundo. ¿Por qué?
 - a) Porque demuestra que la naturaleza no siempre se comporta de forma determinista.
 - b) Porque elimina las leyes de la física clásica.
 - c) Porque sólo se aplica a objetos grandes.
 - d) Porque reemplaza la experimentación por el azar.
16. En tu opinión, ¿qué aportan los experimentos de óptica a la comprensión de los conceptos cuánticos y qué habilidades científicas ayudaron a desarrollar en ti?

Anexo 4: Registro de puntos de los estudiantes de C1 en la prueba

Test	Estudiante	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16	Puntos por persona	
Grupo 1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	5	
	2	1	1	0	1	1	1	1	0	2	0	1	1	2	0	1	1	14	
	3	0	0	1	1	0	1	0	0	0	1	0	1	1	1	0	2	9	
	4	1	0	0	0	2	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	7	
	Puntos por	2	2	2	2	3	2	1	0	2	3	2	2	3	3	3	3	3	35
Puntos Por grupos	11				5				7				12				1		
Grupo 2	1	0	1	1	0	1	1	0	1	2	1	0	2	2	2	0	1	2	15
	2	1	0	1	1	1	1	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1	11
	3	0	1	1	0	2	0	1	0	2	1	1	1	2	1	1	1	1	15
	4	1	1	1	0	2	0	0	1	2	1	1	1	1	1	0	1	1	14
	Puntos por	2	3	4	1	6	2	1	2	7	3	2	5	6	2	4	5	5	55
Puntos Por grupos	16				12				10				17				1		
Grupo 3	1	1	1	1	0	2	1	0	0	2	0	1	2	2	1	1	2	17	
	2	0	1	1	0	1	1	0	0	1	1	0	1	3	1	1	2	14	
	3	1	1	1	0	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	11	
	4	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0	0	1	1	1	1	12
	Puntos por	3	4	4	0	5	4	2	0	4	2	2	4	6	4	4	6	6	54
Puntos Por grupos	16				10				8				3				0,685185185		
Grupo 4	1	0	1	1	0	2	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1	11	
	2	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1	1	2	0	1	1	2	15	
	3	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	5	
	4	1	1	1	1	2	1	0	0	2	0	0	1	1	1	1	2	15	
	Puntos por	2	4	4	1	5	3	0	2	3	1	2	4	2	3	4	6	6	46
Puntos Por grupos	16				8				7				15				1		
Grupo 5	1	0	1	1	0	1	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1	10	
	2	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1	1	0	0	1	1	0	11	
	3	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	5	
	4	1	1	1	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0	1	1	1	1	10
	Puntos por	2	3	3	2	3	2	1	2	2	1	2	2	1	3	4	3	3	36
Puntos Por grupos	13				7				5				11				1		
Grupo 6	1	0	1	1	0	1	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1	10	
	2	1	1	1	0	1	1	0	1	0	1	1	1	0	1	1	0	11	
	3	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	5	
	4	1	1	1	1	0	0	1	0	2	0	0	1	1	1	1	2	13	
	Puntos por	2	3	3	2	3	2	1	2	2	1	2	3	2	3	4	4	4	39
Puntos Por grupos	13				7				6				13				1		

Anexo 5 Registro de puntos de los estudiantes de C2 en la prueba

Test	Estudiante	Parte I				Parte II				Parte III			Parte IV				Puntos por persona	
		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16	
Grupo 1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	2	1	1	3	1	1	1	2	21
	2	1	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	12
	3	1	1	1	1	3	1	1	1	2	1	1	2	1	1	1	2	21
	4	0	0	1	1	0	2	0	1	1	3	1	0	0	2	1	1	15
	Puntos por pregunta	3	2	3	3	8	3	4	3	8	4	3	6	4	4	4	7	69
	Puntos Por grupos	19				18				13			13				1	
Grupo 2	1	1	1	1	1	3	1	1	1	1	1	1	2	1	0	1	1	18
	2	1	1	1	1	2	1	1	1	2	1	1	2	3	1	1	2	22
	3	1	1	1	1	2	1	0	1	2	1	1	2	1	1	1	2	19
	4	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	14
	Puntos por pregunta	3	4	4	4	8	4	3	3	6	4	4	7	6	3	4	6	73
	Puntos Por grupos	23				16				15			19				1	
Grupo 3	1	0	1	1	0	1	1	0	1	2	1	0	2	2	0	1	2	15
	2	1	0	1	1	1	1	0	0	1	0	0	1	1	2	2	1	13
	3	0	1	1	0	2	0	1	0	2	1	1	1	2	2	1	2	15
	4	1	1	1	0	2	0	0	1	2	1	1	1	1	0	1	1	14
	Puntos por pregunta	2	3	4	1	6	2	1	2	7	3	2	5	6	4	5	4	57
	Puntos Por grupos	16				12				10			19				1	
Grupo 4	1	0	0	1	0	2	0	1	1	3	1	0	0	2	1	1	2	15
	2	1	1	1	0	2	1	0	0	2	0	1	2	2	1	1	2	17
	3	0	1	1	0	1	1	0	0	1	1	0	1	3	1	1	2	14
	4	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	13
	Puntos por pregunta	2	3	3	1	6	3	2	1	7	3	2	4	7	4	4	7	59
	Puntos Por grupos	15				13				9			22				1	
Grupo 5	1	0	1	1	0	1	1	0	1	2	1	0	2	2	0	1	2	15
	2	1	0	1	1	1	1	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1	11
	3	0	1	1	0	2	0	1	0	2	1	1	1	2	1	1	1	15
	4	1	1	1	0	2	0	0	1	2	1	1	1	1	0	1	1	14
	Puntos por pregunta	2	3	4	1	6	2	1	2	7	3	2	5	6	2	4	5	55
	Puntos Por grupos	16				12				10			17				1	

Anexo 6 Registro respuestas abiertas de la prueba

5. En tus palabras, explica qué te enseña este experimento sobre la manera en que la observación puede influir en los resultados del mundo microscópico.

Que al hacer un experimento de este tipo, se dan obtienen resultados contraintuitivos, demostrando la complejidad del mundo, abriendo paso a nuevos ramos del conocimiento.

13: El experimento de la doble rendija, porque en la aplicación moderna del experimento de la doble rendija, se comprueba que los electrones son ondas de probabilidad

16R: Estos experimentos permiten comprender conceptos cuánticos como la dualidad de la luz, generando habilidades científicas como el desarrollo de hipótesis, la observación, en otras palabras, pone en práctica el método científico

QRS Comprendí cómo funcionaban los polarizadores cuando la luz pasaba por ellos y también aplicaciones útiles de estos, como en teléfonos celulares.

Aunque desde mi perspectiva no vi una relación clara con el mundo cuántico y lo impredecible de esto, solo vi algunos y cosas, y, por lo tanto se me hacía impredecible.

QRS tienen relación directa porque gracias a estos espectroscopios se puede observar un patrón de luz, un espectro a cada elemento, permitiendo saber el elemento con el que se componen los astrillos.

5. En tus palabras, explica qué te enseña este experimento sobre la manera en que la observación puede influir en los resultados del mundo microscópico.

Para mí, la observación puede influir en los resultados del mundo microscópico en que no todos los sistemas al observarlos son el mismo, dependiendo de la percepción y la cantidad de partículas del sistema obtenemos diferentes resultados.

9. Que dependiendo de la trayectoria, la cantidad y percepción de las partículas, la luz se puede transformar en muchos tipos de energía, y que con los filtros y polarizadores la luz puede cambiar el color o su energía.

12. En que todos ellos se observa como la luz se comporta como onda o partícula y que en muchos experimentos y análisis puede ser ambos.

d) Con la dispersión de los colores.

5. En tus palabras, explica qué te enseña este experimento sobre la manera en que la observación puede influir en los resultados del mundo microscópico.

Pues creía yo que este experimento muestra, como observar o medir puede modificar el movimiento de la luz puede tener varios tipos de interferencia cuando se pasa por las rendijas.

9A: Para mí la luz tiene muchos tipos de comportamientos. Depende de como lo manejamos, lo observamos, o medimos muy distinto ayuda para que el mundo cuántico quede mejor, el comportamiento de la luz.

12A: Algunos de los ejemplos de la luz excitada, son como el reflejo que da las lámparas y el color de las estrellas, y de esto mismo podemos identificar mejor los colores y como se puede reflejar en la ciencia.

13A: No sé 4 4 4 4

16A: Para mí los comportamientos de la óptica son muy interesantes ayudan mucho a los conceptos cuánticos, ayudan a descubrir los comportamientos de la luz, a conocer nuevos conocimientos, o si hay más

5. En tus palabras, explica qué te enseña este experimento sobre la manera en que la observación puede influir en los resultados del mundo microscópico.

La observación influye en los resultados porque antes de ser observado el experimento en este caso, la luz se comportaba como una onda, pero luego se comporta como una partícula, lo que pone en duda la forma en como medimos (estas cosas) pues los resultados pueden variar.

realizan de la luz de las estrellas o de las lámparas LED modernas:

* Comprendi que la luz es más difícil de explicar de lo que parece, ya que gracias a los avances de la ciencia podemos concluir que aparte de ser una onda, también se comporta como partícula, dependiendo de la forma en tal que la observamos.

10. En tu opinión, ¿qué aportan los experimentos de óptica a la comprensión de los conceptos cuánticos y qué habilidades científicas ayudaron a desarrollar en ti?

Res: Estos experimentos son muy interesantes para poder entender el comportamiento de luz, el cual es útil para tener avances científicos y comprender de una mejor forma los electrones también con la superposición se observa que la partícula no está en una sola parte, sino en todas las posibilidades a la vez.

12. En el experimento, según diferentes fuentes de luz, en mi caso una vela, la linterna del teléfono y una luz led se identificaron diferentes cantidades de colores, con espectro, o hasta todos! Este aparato usado se asemeja a un telescopio!

5. En tus palabras, explica qué te enseña este experimento y cómo influir en los resultados del mundo microscópico.

Este experimento nos enseña que a veces todo lo que creemos ver puede ser una suposición o una imaginación de lo que se supone que estamos haciendo. En realidad si puede estar pasando lo que vemos pero a veces lo exageramos por nuestro pensamiento, imaginación y suposición.

Comprendí que a veces por cambiar cualquier tono de luz, puede cambiar nuestra manera de ver los experimentos o los cosas que pasan, por ejemplo con el experimento del espectroscopio lo vimos con diferentes luces (fases, linterna, vela) y simplemente se podían ver casi iguales para nosotros, pero si se analizara con un instrumento se podrían ver cosas diferentes y ahí podría cambiar nuestro modo de verlo.

13. Con el experimento de la doble rendija porque no siguen una trayectoria definida, porque cuando no se observa por qué rendija pasan se crea un patrón de interferencia.

16. En mi opinión los experimentos nos aportan conocimiento y habilidades de ^{observación} ^{suposición} porque a veces seguimos creyendo que cuando vemos algún experimento decimos así es, pero no creemos que podemos estarlo exagerando por cosas de nuestras suposiciones.

12. ¿Qué relación encuentras entre los tipos de luz que realizan de la luz de las estrellas o de las lámparas LED modernas?

La relación que encuentro es que así como en el espectroscopio se para la luz blanca en diferentes colores los científicos analizan la luz de las estrellas o de las lámparas para identificar los elementos que las componen.

A= Entendi que la luz no siempre actua como una onda. Cuando le pasamos los polarizadores su dirección cambia y puede pasar o no dependiendo como lo acomodamos, eso me mostro que los resultados dependen mucho de las condiciones y que no todo es tan predecible.

A= Vi que cada fuente de luz tiene un patron de colores distintos, como una huella. Es como si cada una dejara su propio código de colores y eso ayudo a identificar su composición.

A= Para mi el de la doble rendija, porque no se ve una trayectoria clara, es decir en vez de una ruta fija hay cosas con más o menos probabilidad de encontrar el electron.

A= Estos experimentos me ayudaron a entender que en la fisica no es todo lo que parece. Vi que la luz puede cambiar segun como la observemos, que puede estar conformada de distintos colores y que las cosas no siempre tienen un resultado fijo. tambien me ayudo a analizar, observar mejor y sacar conclusiones basadas en lo que veo.

A= De que a través de pequeños fenómenos pueden resultar miles de dudas y que la superposición de las cosas se notan a través de las pequeñas maneras en las que influyen diferentes cuerpos y materiales convergentes y que a través de pequeñas cosas se notan miles resultados.

12. ¿Qué relación encuentras entre los patrones de interferencia que se realizan de la luz de las estrellas o de las lámparas LED modernas?

A= Que dependiendo de la medida de observación y el método empleado los patrones de colores pueden variar su tonalidad dependiendo de la longitud de onda que se emplea en el experimento.

Continuar en los resultados del mundo microscópico.

Como pudimos observar en el experimento de la luz, depende de q punto se observe el objeto y como su forma o como se veon sus particulos.

$9R =$ Que gracias a científicos y físicos la dualidad de la luz es posible y como a través de observaciones y experimentos la luz se puede comportar de las dos formas posibles y que gracias a la experimentación las observaciones y los resultados pueden cambiar de una gran forma posible es decir, no debemos de estar sujetos a predecir resultados sino esperar que a través del camino podemos encontrar algo inimaginable nunca visto.

¿qué aportan los experimentos de óptica a la comprensión de los conceptos cuánticos y qué habilidades científicas ayudaron a desarrollar en ti?

$R =$ Pienso de que los experimentos me ayudaron a comprender mucho como los resultados pueden variar y su forma en como se comportan con el medio siento de que a la hora de realizar un experimento y pasas a preguntarse sobre cómo preguntarnos nos ayudan a interesarnos y entender como la comprensión de los fenómenos físicos y experimentales cambian nuestra forma de ver el ambiente y a la hora de comprender los fenómenos cuánticos nos permite entender claramente de que no todo es así porque debe de ser esa forma sino preguntarnos

{ ¿Cómo incide la ciencia y la física en la vida?

$13R =$ Con el experimento de la doble rendija ya que al pasar el laser por las rendijas vemos como el fenómeno en el que apuntamos cambia la posición en la pantalla en la que se nota el fenómeno es decir, que al ver un cambio en la dirección en la que apuntamos se nota un cambio en su

que avances científicos ayudaron a desarrollar en ti?

13. con el experimento de los polarizadores, porque la luz no tiene un comportamiento fijo; dependiendo de como se observe y los filtros q se usen, cambia el resultado

16. Estos experimentos me ayudaron a entender q la luz puede comportarse de diferentes formas, y q en el mundo cuantico los resultados pueden cambiar dependiendo de como se mide o se observe.

9. con este experimento comprendi q la luz puede cambiar su estado segun las condiciones lo q lo hace impredecible, yo q al añadir elementos la observacion cambia

12. Los patrones de colores observados demuestran la cantidad de energia de cada fuente de luz. Eso mismo hacen los científicos con la luz de las estrellas, y así poder conocer los elementos y temperatura.

9. Describe con tus palabras qué comprendiste sobre el comportamiento de la luz después de este experimento y cómo se relaciona con la idea de que en el mundo cuántico los resultados pueden cambiar según las condiciones de observación. - Que la luz es impredecible y varia dependiendo de como se observa

c) Con la absorción total de la luz.
 Con la refracción de la luz.

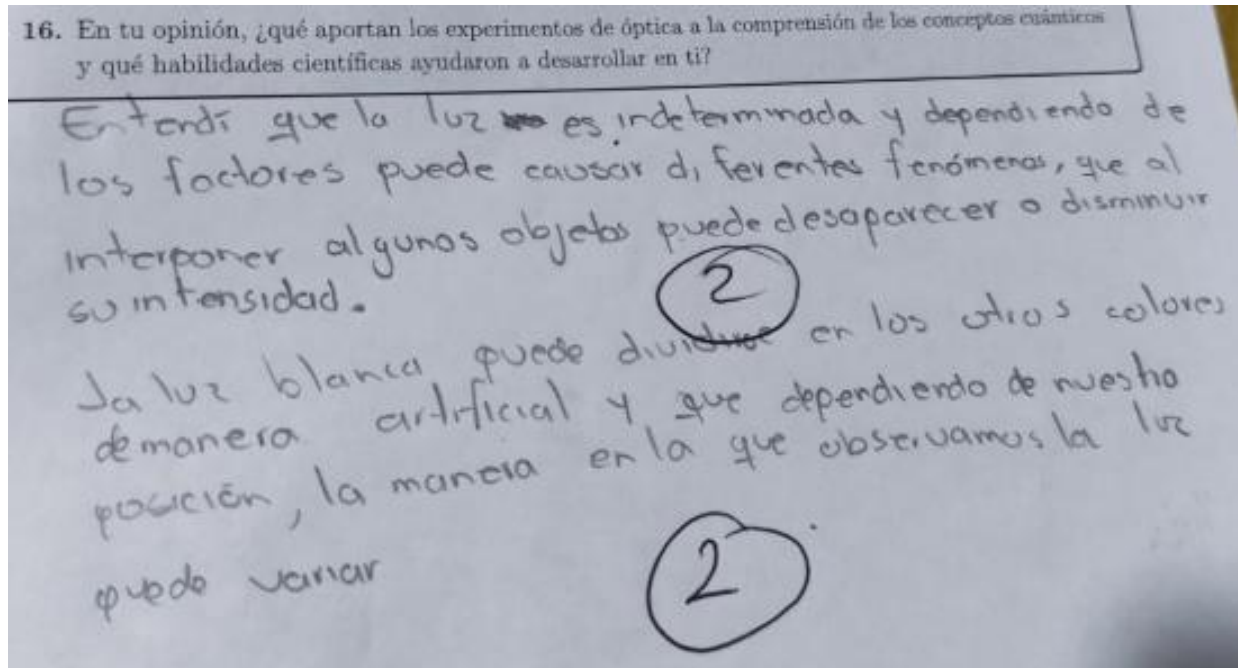
12. ¿Qué relación encuentras entre los patrones de colores observados y el análisis que los científicos realizan de la luz de las estrellas o de las lámparas LED modernas?

Que puede variar dependiendo la intensidad de la luz y generar diferentes fenómenos o efectos

5. En tus palabras, explica qué te enseña este experimento sobre la manera en que la observación puede influir en los resultados del mundo microscópico.

Me enseña que la luz se puede comportar como onda y como partícula y que puede variar dependiendo del punto de vista del observador

(2)



Anexo 7: Registro de puntuación de las guías experimentales

Grupo	Curso	Experimento	Montaje	Registro	Análisis	Equipo	Preguntas abiertas	Conclusiones	Total	Promedio	Maximo de Puntos	Puntos	Nivel de la Respuesta
G1	C2	DR	3	3	2	3	2	3	16	2,667	18	0	Bajo
G1	C2	3P	2	3	3	3	2	3	16	2,667	18	1	Basico
G1	C2	EC	2	3	1	2	1	2	11	1,833	18	2	Alto
G2	C2	DR	2	3	2	3	2	3	15	2,500	18	3	Superior
G2	C2	3P	2	3	2	3	2	3	15	2,500	18		
G2	C2	EC	2	2	1	2	1	3	11	1,833	18		
G3	C2	DR	3	2	2	2	2	2	13	2,167	18		
G3	C2	3P	2	3	3	2	3	2	15	2,500	18		
G3	C2	EC	1	2	1	1	1	2	8	1,333	18		
G4	C2	DR	2	2	2	2	2	2	12	2,000	18		
G4	C2	3P	2	3	3	2	3	2	15	2,500	18		
G4	C2	EC	1	2	1	1	1	2	8	1,333	18		
G5	C2	DR	2	2	1	2	2	1	10	1,667	18		
G5	C2	3P	2	2	2	2	2	2	12	2,000	18		
G5	C2	EC	2	1	1	2	1	1	8	1,333	18		

Grupo	Curso	Experimento	Montaje	Registro	Análisis	Equipo	Preguntas abiertas	Conclusiones	Total	Promedio	Maximo de Puntos	Puntos	Nivel de la Respuesta
G1	C1	DR	3	2	2	3	2	2	14	2,333	18	0	Bajo
G1	C1	3P	2	2	3	3	2	2	14	2,333	18	1	Basico
G1	C1	EC	3	1	1	2	1	2	10	1,667	18	2	Alto
G2	C1	DR	3	3	2	3	2	3	16	2,667	18	3	Superior
G2	C1	3P	3	3	2	3	2	3	16	2,667	18		
G2	C1	EC	2	2	1	2	1	3	11	1,833	18		
G3	C1	DR	2	2	2	2	2	2	12	2,000	18		
G3	C1	3P	2	3	3	2	3	2	15	2,500	18		
G3	C1	EC	1	2	1	1	1	2	8	1,333	18		
G4	C1	DR	2	2	1	2	1	1	9	1,500	18		
G4	C1	3P	2	2	2	2	2	1	11	1,833	18		
G4	C1	EC	2	1	1	2	0	1	7	1,167	18		
G5	C1	DR	1	1	2	1	1	1	7	1,167	18		
G5	C1	3P	2	1	1	1	1	1	7	1,167	18		
G5	C1	EC	0	0	0	1	1	1	3	0,500	18		
G6	C1	DR	2	2	1	2	1	1	9	1,500	18		
G6	C1	3P	1	1	2	2	2	1	9	1,500	18		
G6	C1	EC	1	1	1	1	1	1	6	1,000	18		

Anexo 8: Evidencia de las guías diligenciadas por los estudiantes.

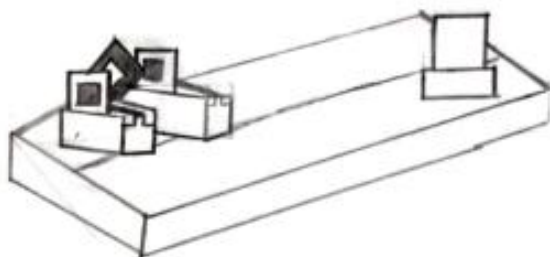
- Flechas de orientación claramente marcadas en cada filtro.
- Se identificó una intensidad mínima con dos filtros (configuración cruzada).
- Con el tercer filtro intermedio, la intensidad transmitida aumenta perceptiblemente.

Registro de observaciones

Cuadro 2: Configuraciones y percepción relativa de intensidad transmitida.

Configuración	Intensidad observada / notas
Un polarizador (cualquier ángulo)	
Dos polarizadores alineados	
Dos polarizadores cruzados	
Tercer polarizador con ángulo intermedio	

Espacio para esquema del montaje



Preguntas de análisis

1. ¿Qué significa que la luz esté polarizada en una dirección definida?
2. ¿Por qué dos polarizadores cruzados reducen la intensidad transmitida casi a cero?
3. ¿Cómo explica que al interponer un tercer polarizador con orientación intermedia reaparezca la transmisión parcial?
4. Mencione dos usos cotidianos de polarizadores (p. ej., gafas, fotografía, pantallas).

Solución de problemas

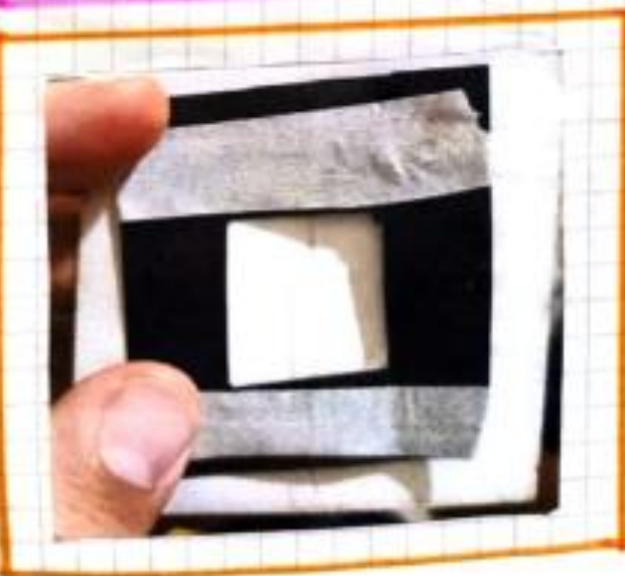
- *No cambia la intensidad al girar:* marque y respete la orientación; verifique la uniformidad de la fuente.
- *Con dos filtros cruzados aún hay intensidad:* ajuste fino hasta el mínimo; revise desgaste o defectos de los filtros.
- *Con tres filtros no aumenta la transmisión:* confirme que el tercero esté realmente entre los otros dos y a un ángulo intermedio.



En la imagen se puede observar como el láser a través de las rendijas el efecto que forma en la pantalla a las rendijas de forma vertical del puntero del láser forma un efecto horizontal.



En la imagen se puede observar el efecto contrario al de la imagen inicial donde el láser atraviesa una rendija que se encuentra en orientación horizontal, formando en si en la pantalla un efecto de forma vertical.

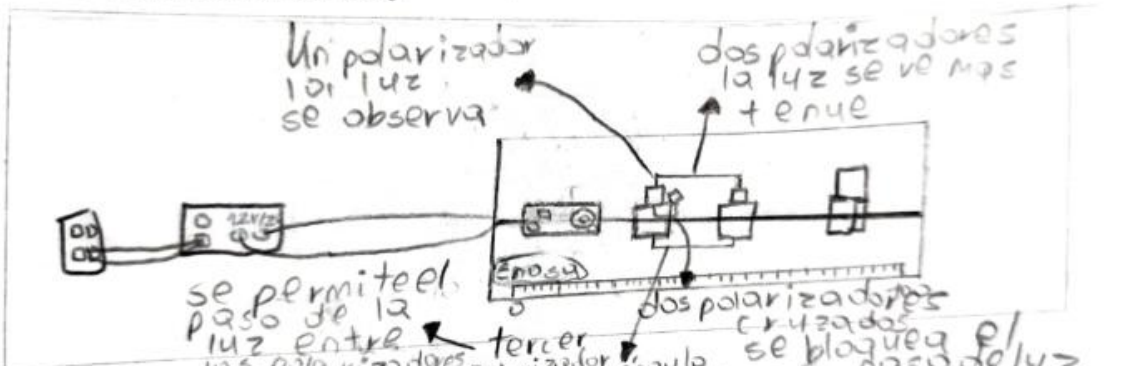


Registro de observaciones

Cuadro 2: Configuraciones y percepción relativa de intensidad transmitida.

Configuración	Intensidad observada / notas
Un polarizador (cualquier ángulo)	La luz se nota por ser más tenue
Dos polarizadores alineados	La luz se ve más tenue
Dos polarizadores cruzados	Se bloquea el paso de luz
Tercer polarizador con ángulo intermedio	Se permite el paso de luz entre los polarizadores cruzados

Espacio para esquema del montaje



Preguntas de análisis

1. ¿Qué significa que la luz esté polarizada en una dirección definida? *Significa que las ondas de luz vibran en un único plano*
2. ¿Por qué dos polarizadores cruzados reducen la intensidad transmitida casi a cero? *El primer polarizador convierte la luz en un movimiento lineal, pero su intensidad se pierde mientras el segundo en una forma de luz estropeada*
3. ¿Cómo explica que al interponer un tercer polarizador con orientación intermedia reaparezca la transmisión parcial? *Algunas ventanas de las casas*
4. Mencione dos usos cotidianos de polarizadores (p. ej., gafas, fotografía, pantallas).

Solución de problemas

- 1- Verificar de las corrientes 2- Algunos ventanales de las casas
- No cambia la intensidad al girar: marque y respete la orientación; verifique la uniformidad de la fuente.
- con dos filtros cruzados aún hay intensidad: ajuste fino hasta el mínimo; revise desgaste o defectos de los filtros. *que la luz esté bloqueada*

Cámaras fotográficas: Usan lentes polarizadores que se colocan delante del lente para eliminar reflejos no deseados en superficies como el agua, el vidrio o el metal, y también para intensificar los colores del cielo y el paisaje, haciendo que las fotos se vean más nítidas y con menos contraste.



