



**UNIVERSIDAD PEDAGOGICA
NACIONAL**

Educadora de educadores

**El experimento de Michelson-Morley como recurso didáctico para
la enseñanza de la interferencia de la luz y la superposición de las
ondas en la educación media**

Presentado por:

Lady Johana Olaya Quintero

Universidad Pedagógica Nacional de Colombia

Facultad de Ciencia y Tecnología.

Departamento de Física.

Bogotá D. C.

2026

**El experimento de Michelson-Morley como recurso didáctico para
la enseñanza de la interferencia de la luz y la superposición de las
ondas en la educación media**

Presentado por:

Lady Johana Olaya Quintero

Tutor:

Fernando Isidro Espitia

Línea de profundización: La enseñanza de la física a través y la relación física matemática.

Universidad Pedagógica Nacional de Colombia

Facultad de Ciencia y Tecnología.

Departamento de Física.

2026

Contenido

Índice de gráficos.....	5
Índice de tablas.....	5
Introducción.....	6
1. Contexto problemático.....	7
1.1. Objetivo general	12
1.2. Objetivos específicos	12
1.3. Antecedentes	12
2. Capítulo I. Panorama histórico del experimento	16
2.1. Fundamentos del experimento de Michelson–Morley	19
2.2. Diseño experimental y metrología: óptica vs. acústica.....	20
2.3. Implicaciones en la física clásica y transición hacia la relatividad especial	22
3. Capítulo II. Fundamentación teórica y pedagógica de los fenómenos ondulatorios de la luz	25
3.1. Naturaleza ondulatoria de la luz.....	25
3.2. Principio de superposición.....	27
3.3. Interferencia de ondas electromagnéticas.....	28
3.4. Condiciones de coherencia y descripción matemática de la interferencia	30
3.5. El interferómetro de Michelson como aplicación experimental.....	31
3.6. Fundamentación pedagógica	32
3.7. Dificultades comunes en la enseñanza de ondas e interferencia	34
3.8. El experimento de Michelson–Morley en la tríada didáctica de la enseñanza de la física	35
3.9. El experimento de Michelson–Morley en la tríada didáctica desde el aprendizaje significativo	37
3.10. Estrategias de evaluación del aprendizaje	39
4. Capítulo III. Diseño metodológico guía didáctica	43
4.1. Diseño metodológico de la guía didáctica.....	43
4.3. Diseño de la guía didáctica	44
4.4. Estructura de la guía.....	44
4.5. Estrategias didácticas.....	45

4.5.1. Rol del docente y del estudiante	45
4.5.2. Alcances de la propuesta.....	46
4.6. Guías didácticas.....	46
5. Implementación metodológica y análisis de resultados	47
6. Resultados del proceso de experimentación.....	54
7. Conclusiones	56
Referencias.....	58
Anexos	62

Índice de gráficos

Gráfico 1. El éter como medio para explicar cómo se transmiten las fuerzas a distancia.....	23
Gráfico 2. Relación entre docente, estudiante y conocimiento en la enseñanza de la física	36
Gráfico 3. Tríada didáctica en la enseñanza de la física mediada por el experimento de Michelson	38
Gráfico 4. Estructura guías didácticas	47

Índice de tablas

Tabla 1. Tipos de interferencia y sus características físicas.	30
Tabla 2. Estructura momentos guía didáctica.....	45

Introducción

El experimento de Michelson-Morley, considerablemente reconocido por su notabilidad en la comprensión de la naturaleza de la luz, se plantea en este trabajo como un recurso didáctico para la enseñanza de la interferencia y la superposición de ondas en la educación media. No obstante, su enunciación original concierne a un contexto científico especializado, su adaptación al aula aprueba aproximar estos conocimientos a los estudiantes mediante experiencias significativas y comprensibles.

En este sentido, el presente trabajo propone el uso de este experimento como eje articulador para la enseñanza de dichos fenómenos, reconociendo su valor no solo en la historia de la física, sino también como recurso didáctico que permite vincular la experimentación, la conceptualización y la reflexión sobre la construcción del conocimiento científico. A partir de este enfoque, se busca favorecer procesos de aprendizaje en los que el estudiante participe activamente en la interpretación de fenómenos para así, establecer relaciones entre la teoría y la práctica y con ello, desarrolle explicaciones fundamentadas.

De este modo, el trabajo se estructura en tres capítulos principales: el primero aborda los elementos y sustentos históricos y conceptuales del experimento de Michelson-Morley; el segundo desarrolla los elementos teóricos y pedagógicos relacionados con la naturaleza ondulatoria de la luz, la superposición y la interferencia; y el tercero, presenta el diseño metodológico de la guía didáctica. Finalmente, se incluye el análisis de su implementación y los resultados obtenidos, con el propósito de evidenciar su aporte al mejoramiento de la enseñanza de la física en la educación media.

1. Contexto problemático

“...Es posible pensar las ciencias y su enseñanza, en términos de actividad de la cultura, en donde lo que prima no es la reconstrucción de los corpus teórico-experimentales disciplinares, sino la generación de condiciones comunicativas y experienciales para la construcción de explicaciones complejas del mundo”. (Méndez et al., 2004)

En un primer momento, es importante mencionar que, la enseñanza de las ciencias enfrenta actualmente un reto significativo, puesto que no basta con una percepción pasiva del estudiante, la acumulación de información; sino es necesario propiciar la construcción de sentido y comprensión profunda de los fenómenos naturales. Por ende, desde la perspectiva del aprendizaje significativo, se menciona que este se fortalece cuando los estudiantes logran vincular los conceptos teóricos con lo que observan de su realidad, permitiendo integrar nuevos saberes de manera coherente con sus conocimientos previos (Ausubel, 2002; Novak, 2010).

No obstante, diversos estudios en didáctica de la física evidencian que los métodos tradicionales, centrados en la exposición del docente y la resolución mecánica de ejercicios, son limitados para alcanzar una comprensión conceptual sólida y duradera. Esta mirada se contempla, en relación con lo que manifiesta Suárez (2008):

La didáctica de la física, es una ciencia que se encarga de encontrar formas más convenientes de enseñar la física, esta al ser una ciencia un poco confusa por sus definiciones, causa desinterés en los estudiantes de la educación media por aprenderla, a este problema se le suma la inadecuada forma de enseñarla, aumentando el grado de desinterés por la incomprensión de lo enseñado. Para disminuir este desinterés y lograr mejorar el nivel de comprensión de los temas de física, la didáctica de la física estudia los lenguajes de esta ciencia; es decir, su objetivo es lograr que un docente encuentre la manera de hacer que el estudiante logre adquirir el proceso de matematización de los fenómenos. Teniendo en cuenta, que este proceso consiste en

lograr la comprensión del fenómeno y poder escribir este, de una forma que se pueda generalizar y solucionar, a esta generalización se le conoce como ecuación. Si el estudiante logra obtener esta, mostrara un dominio del fenómeno y un conocimiento claro del tema.

Bajo este contexto, diversas investigaciones resaltan la importancia de implementar estrategias de aprendizaje que involucren al estudiante en procesos de indagación, dialogo y experimentación. En este sentido, el análisis realizado por Freeman et al. (2014), en el que analiza más de 225 estudios de educación en ciencias, ingeniería y matemáticas, evidencian que las metodologías activas generan mejoras significativas en la comprensión tanto conceptual como metodológica de los fenómenos a estudiar, lo cual disminuye las tasas de deserción en relación con los enfoques tradicionales.

Estos estudios acerca de la didáctica de la física son hechos con el fin de formar al estudiante con la mentalidad de investigador para que haciendo uso de los conocimientos adquiridos logre crear nuevas formas de satisfacer las necesidades, o en su defecto mejorar los artefactos que se tienen para lograr avanzar tecnológicamente haciendo que la sociedad adquiriera un mejor nivel de vida (Suarez, 2008, p. 48)

Lo anterior, permite entonces subrayar la importancia de promover prácticas que favorezcan la interacción directa de los fenómenos físicos, la participación activa del conocimiento y la construcción de espacios significativos en el aula. Por lo tanto, dentro de este marco, surge la importancia del estudio de fenómenos ópticos como la interferencia de la luz y la superposición de ondas, dado que, en la educación media estos conceptos son claves para entender la naturaleza ondulatoria de la luz y los desarrollos posteriores de la física moderna. Sin embargo, debido a su carácter abstracto suelen ser enseñados desde enfoques predominantemente teóricos o altamente matemáticos lo cual genera una dificultad en los estudiantes al momento de relacionar modelos físicos con manifestaciones observables de estos fenómenos.

En este sentido, el experimento de Michelson-Morley, se configura como una oportunidad didáctica valiosa, permitiendo analizar de manera experimental la interferencia de la luz y entender como esto generó una crisis en el paradigma vigente. Un ejemplo perfecto de cómo

un experimento de altísima precisión puede arrojar un resultado inesperado que la teoría de su época no puede explicar de forma sencilla. Es clave mencionar, que esta perspectiva también se articula desde los posicionamientos institucionales como lo son los lineamientos curriculares del Ministerio de Educación Nacional y los estándares de calidad, los cuales, mencionan:

Al final de grado undécimo, un estudiante utiliza modelos físicos para explicar la transformación y conservación de la energía, e identifica aplicaciones de estos modelos en procesos industriales y desarrollos tecnológicos. En el componente de manejo de conocimientos, establece relaciones entre frecuencia, amplitud, velocidad de propagación y longitud de onda, y reconoce diferentes modelos para explicar la naturaleza y el comportamiento de la luz. Asimismo, en la aproximación al conocimiento científico, formula hipótesis, identifica variables, propone modelos y relaciona la información experimental con teorías científicas (Ministerio de Educación Nacional [MEN], 2006).

De esta manera, permiten identificar elementos que guían la enseñanza de los fenómenos ópticos en la escuela; puesto que, estos se relacionan con la selección de contenidos considerados relevantes para cada ciclo, su ubicación en los distintos niveles, la organización secuencial de los temas y la priorización de ciertos problemas o enfoques sobre otros.

Bajo este contexto, se evidencian algunos de los estándares enfocados en la enseñanza de los fenómenos ópticos en la escuela, mostrando así, una progresión en la que los estudiantes no solo explican fenómenos como la interferencia de la luz, sino que también establecen relaciones entre modelos, reconocen sus aplicaciones y comprenden su carácter dinámico en la construcción científica. No obstante, esta intención formativa, se contrasta con las prácticas del aula, en las cuales, dichos fenómenos suelen ser trabajados de maneras reduccionistas, limitando el potencial para promover la comprensión profunda de la ciencia como proceso histórico, social y en permanente transformación.

Por lo anterior, se observa que, diversas investigaciones enfocadas en la didáctica de la física, señalan la importancia de articular enfoques histórico-epistemológicos con actividades experimentales, favoreciendo con ello, la concepción de elementos como: interferencia, propagación de la luz y los sistemas de referencia (López, 2011). Esta mirada permite

trascender visiones fragmentadas del conocimiento, situando estos fenómenos en contextos de construcción científica. Adicional a ello, estos estudios involucran simulaciones y entornos interactivos basados en el experimento de Michelson-Morley, mostrando con ello mejoras en la comprensión de los patrones de interferencia y en la interpretación del comportamiento de la luz; así, los estudiantes pueden manipular variables, formular hipótesis y conectar la teoría con la experiencia (Spodniaková & Plesch, 2025).

No obstante, teniendo en cuenta estos aportes, la presencia de propuestas didácticas que integren de manera sistemática la experimentación, es limitada, en especial con el interferómetro de Michelson-Morley para la enseñanza de fenómenos ópticos y la relación con fundamentos de la relatividad, en especial en educación media. Por ende, se evidencia una necesidad de diseñar estrategias pedagógicas que aprovechen tanto el valor experimental, como histórico de este experimento. En esta línea, se plantea la presente investigación, la cual busca aportar al mejoramiento de la enseñanza de la física mediante la incorporación de prácticas experimentales que faciliten la comprensión más profunda de la relación entre fenómenos observables, modelos teóricos y la evolución historia del conocimiento científico. Por lo tanto, surge la siguiente pregunta de investigación:

¿Cómo una propuesta de aula, fundamentada en el experimento de Michelson-Morley, puede favorecer la comprensión de los fenómenos ópticos de interferencia de la luz y superposición de ondas para estudiantes de educación media?

De este modo, los lineamientos establecidos por el Ministerio de Educación Nacional (MEN, 2006) forma el marco normativo e institucional que determina los objetivos educativos para el ciclo de educación media en física, demandando que el estudiante domine modelos que expliquen la naturaleza ondulatoria de la luz y establezca una relación madura entre la información que se obtiene experimentalmente y las teorías científicas. Sin embargo, se observa una notable discrepancia epistemológica y cognitiva entre este precepto curricular y la realidad en el salón de clase. La necesidad pedagógica de esta investigación no radica en simple cumplir con la normativa del MEN, sino en la urgencia de resaltar las dificultades del aprendizaje que históricamente han obstaculizado el logro de los objetivos en el aula. Diversos estudios en el ámbito de la didáctica de las ciencias resaltan que, al no contar con una base conceptual y experimental adecuada, los estudiantes de grado undécimo se

enfrentan a obstáculos específicos que dificultan una comprensión significativa de lo que es la interferencia y la superposición de ondas.

Obstáculo Mecanicista - El "Choque de Ondas": Aunque el MEN exige que se explique el comportamiento de la luz, en la práctica el estudiante tiende a trasladar conceptos de mecánica de partículas a óptica clásica. Y ve la interferencia como una colisión o choque destructivo constante entre objetos materiales, desconociendo el principio de superposición y la coexistencia espacial de las ondas.

Confusión en la Conservación de la Energía: El estudiante supone de manera errónea que la oscuridad (es una mínima interferencia) que implica una total destrucción o desaparición de la energía lumínica. Resalta una falta de entendimiento del fenómeno como una redistribución de la intensidad espacial que es influenciada por las diferencias de fase.

Reduccionismo Algebraico: La enseñanza tradicional, aunque cumple formalmente con el currículo abrumando al estudiante con la resolución matemática de la onda armónica, resalta un aprendizaje meramente algorítmico y mecánico; el alumno maneja variables como lo son la longitud de onda (λ) o el camino óptico de manera mecánica, pero no logra vincular estos símbolos con patrones de franjas que se pueden observar en la realidad.

La Exigencia de un Soporte Material (El Fantasma del Éter): Al no tener una explicación cualitativa de la electrodinámica clásica para educación media, el estudiante tiene serios problemas para lograr comprender una onda que se propaga sin un medio material, replicando la necesidad histórica del éter luminoso y obstaculizando la transición hacia las ideas de la relatividad especial.

Por lo tanto, el tema de investigación se establece a partir de esta contradicción: mientras el Ministerio de Educación Nacional exige la utilización de modelos científicos para crear hipótesis e interpretar datos experimentales, las dificultades cognitivas ligadas al fenómeno ondulatorio, sumadas a enfoques pedagógicos reduccionistas, limitan al estudiante a un aprendizaje memorístico y fragmentado. Es precisamente ante esta situación que al integrar el experimento de Michelson-Morley se presenta como una necesidad y una oportunidad educativa única. Al integrar las dimensiones geométrica, conceptual e histórica en un único dispositivo de precisión, la propuesta de aula elaborada actúa como el puente que facilita la

superación de las carencias profundas y permite que sea posible, de manera real y efectiva, alcanzar las metas de calidad científica planteadas por el contexto institucional colombiano.

1.1. Objetivo general

Diseñar una guía didáctica basada en el experimento de Michelson–Morley para la enseñanza de los fenómenos de interferencia de la luz y superposición de ondas para estudiantes de educación media.

1.2. Objetivos específicos

- Caracterizar las tensiones epistemológicas de la época por medio de una breve revisión histórica alrededor del experimento de Michelson–Morley, con el fin de establecer los puntos detonantes de aprendizaje y de andamiaje para el estudiante de educación media.
- Identificar los principios físicos de la de interferencia de la luz y la superposición de ondas fundamentadas en el experimento de Michelson–Morley a través de una adaptación didáctica cualitativa, convirtiendo la complejidad del formalismo matemático en modelos conceptuales que aborden de manera directa las dificultades cognitivas en los estudiantes, para brindar un marco teórico a la investigación.
- Diseñar unas guías didácticas estructuradas de manera secuencial enfocada en torno a la enseñanza de los conceptos de interferencia y superposición de ondas electromagnéticas utilizando el experimento de Michelson-Morley, como recurso pedagógico para la educación media.

1.3. Antecedentes

En esta línea, el experimento de Michelson-Morley, se ha consolidado como un referente en la evolución de la física moderna, como en el diseño de propuestas didácticas enfocadas en la enseñanza de conceptos relacionados con la luz, el movimiento y los sistemas de referencia. Por ende, se presentan algunos antecedentes relevantes en ámbitos locales, nacionales e internacionales que destacan sus principales aportes para esta investigación.

En primer lugar, en el contexto local, se destaca el trabajo realizado por López (2009), desarrollado en la Universidad Pedagógica Nacional y titulado: *El experimento de Michelson y Morley: una propuesta didáctica para la enseñanza de la relatividad especial*. Este estudio realiza un análisis histórico-crítico del experimento, partiendo de la revisión de fuentes originales y textos universitarios de física. El propósito principal de este estudio fue caracterizar el contexto científico en el cual surge el experimento para así, examinar cómo desde los textos educativos se interpretan sus resultados, adicional de su vínculo con la teoría de la relatividad especial. De este modo, la relevancia de esta investigación parte de la comprensión del experimento no solo como un contenido, sino como parte de un proceso de construcción de conocimiento científico, permitiendo orientar la construcción del conocimiento científico desde propuestas didácticas más reflexivas.

Si involucramos la historia dentro del contexto de la enseñanza de la Relatividad asumiendo el experimento como un elemento de reflexión frente a las problemáticas abordadas en un momento, es posible confrontar los procesos de construcción de conocimiento en el aula y las proposiciones filosóficas que suelen contemplarse en los textos de carácter universitario (López, 2009, p.128).

No obstante, difiere de la presente investigación, dado que se centra en la relatividad especial y no en el abordaje puntual de los fenómenos ondulatorios, como lo son la interferencia de la luz y la superposición de ondas, en especial, desde educación media.

Ahora bien, en el ámbito nacional, se destaca el estudio de Torres (2016), realizado en la Universidad de Sucre, titulado: *Estrategia didáctica basada en el modelo de aula invertida (flipped classroom) para la enseñanza de la relatividad especial en estudiantes de educación media*. Esta investigación tuvo como objetivo analizar la implementación del modelo de aula invertida para facilitar la comprensión de conceptos asociados a la relatividad especial. Su contribución radica en evidenciar el valor de las metodologías activas y del uso de recursos tecnológicos para fortalecer la comprensión conceptual y el interés de los estudiantes, aspectos retomados en la presente investigación.

Este trabajo se realiza con el fin de implementar esta estrategia didáctica en la física del último grado de bachillerato en búsqueda del rendimiento y mejoramiento de la comprensión de los conceptos básicos de la relatividad especial, además de la

búsqueda de una metodología innovadora y llamativa para los mismos estudiantes (Torres, 2016, p. 6).

No obstante, se diferencia en que no se enfoca en contenidos específicos como la interferencia de la luz ni emplea el experimento de Michelson–Morley como eje articulador del proceso de enseñanza.

Por último, en el ámbito internacional, se resalta el trabajo de (Cassini & Levinas, 2005), desarrollado en Brasil, titulado: *Simulação em realidade virtual do experimento de Michelson–Morley como recurso didático para o ensino de física moderna*. Esta investigación desarrolló el diseño y evaluación de una simulación en realidad virtual del experimento con el fin de analizar su potencial como herramienta didáctica. Justamente, este estudio aporta el reconocimiento de las simulaciones y representaciones interactivas para facilitar la comprensión de fenómenos complejos como: la interferencia, en especial cuando su reproducción en el aula resulta difícil.

Salientamos que, em diferentes contextos históricos, a mesma experiência pode ser considerada como fornecedora de diferentes conceptualizações, muitas vezes incompatíveis, dos fenómenos. Isto permite-nos mostrar por que razão a relatividade restrita prevaleceu sobre as suas teorias rivais. A teoria de Einstein possibilitou uma nova reinterpretação da experiência de Michelson-Morley ao relacioná-la com um fenómeno novo, a saber, a invariância da velocidade da luz, que não era o originalmente investigado nessa experiência. Este facto permite-nos responder à questão de como é que esta experiência poderia ter sido interpretada num contexto histórico completamente diferente, como o da ciência do século XVII, quando o movimento orbital da Terra era ainda uma hipótese questionável (Cassini y Levinas, 2005, p. 578).

No obstante, el énfasis de esta investigación se centra en el uso del recurso tecnológico, cuestión que se diferencia de la presente investigación al proponerse una guía didáctica integral que permite articular las dimensiones conceptuales, históricas y pedagógicas en el contexto de la educación media.

Finalmente, estos antecedentes ofrecen bases claves para la investigación, desde la importancia del enfoque histórico-epistemológico, el implementar metodologías activas y el uso de recursos didácticos en la enseñanza de la física. Sin embargo, esta investigación se centra en el diseño de una guía didáctica orientada a la enseñanza de la interferencia de la luz y la superposición de ondas en educación media, tomando el experimento de Michelson–Morley como eje articulador, lo cual permite integrar de manera contextualizada los componentes conceptuales, históricos y pedagógicos en un recurso concreto para el aula.

2. Capítulo I. Panorama histórico del experimento

Inicialmente, el análisis del experimento de Michelson-Morley, debe contemplarse como un hecho clave dentro de la historia de la física, siendo un proceso amplio de transformaciones tanto técnicas como experimentales. Por esto, a finales del siglo XIX, la física clásica se concebía como un panorama consolidado, en especial, debido a los avances en la comprensión de la luz y el electromagnetismo: sin embargo, surgen nuevas inquietudes, en especial a la propagación de ondas luminosas. Bajo este contexto, surge la hipótesis del éter luminífero, la cual surge como una explicación coherente dentro del marco teórico vigente, lo que motivó a que se realizaran experimentos destinados a comprobar su existencia. Entre ellos, el experimento de Michelson-Morley, el cual se destacó por su intención de validar esta idea mediante evidencia empírica. No obstante, sus resultados no solo pusieron en duda la existencia del éter, sino que también generaron una crisis en los fundamentos de la física clásica, evidenciando que el desarrollo científico no es lineal, sino que se construye a partir de tensiones, ajustes y rupturas conceptuales que, en este caso, condujeron a replantear nociones fundamentales como: el espacio, el tiempo y el movimiento, abriendo camino a la relatividad especial.

En efecto, James Clerk Maxwell en sus ecuaciones había consolidado la comprensión de la naturaleza electromagnética de la luz, aunque surgió una pregunta clave: Si la luz es una onda, ¿en qué medio se propaga? Bajo la concepción de la época, toda onda requería un medio para propagarse, por lo que se postuló la existencia del éter como una sustancia omnipresente e imperceptible que actuaba como sistema de referencia absoluto.

Después de pasar por numerosos refinamientos sucesivos, actualmente se conoce como las ecuaciones de Maxwell para el campo electromagnético a un conjunto de cuatro ecuaciones vectoriales (Fleisch, 2008). La primera es conocida como ley de Gauss para el campo eléctrico. Según ella, el flujo eléctrico a través de una superficie cerrada es proporcional a la suma de la carga total que alberga en su interior. El flujo eléctrico es análogo al de la mecánica de fluidos. Se utiliza para describir el campo eléctrico en relación a una superficie, es decir, cuál es la componente del campo perpendicular a dicha superficie. Aunque en la formulación original (Maxwell, 1865) no aparecía en su forma actual, puede obtenerse fácilmente combinando la ecuación

de la electricidad libre (G) con la ecuación de la elasticidad eléctrica (E). En la formulación original aparecía la elasticidad eléctrica en lugar de su inversa la permitividad (Masip, 2015, p. 17).

Desde esta lógica, el movimiento de la Tierra a través de dicho medio debería generar variaciones en la velocidad de la luz según la dirección de medición, lo que hacía necesario comprobar experimentalmente esta hipótesis. Así, el experimento realizado por Albert A. Michelson y Edward W. Morley en 1887 buscó detectar estas variaciones a través un interferómetro que dividía un haz de luz en trayectorias perpendiculares para luego recombinarlas. Cualquier diferencia en los tiempos de recorrido se evidenciaría en cambios en el patrón de interferencia. Sin embargo, los resultados fueron inesperados: no se detectaron variaciones significativas, lo que llevó al denominado “resultado nulo”, este resultado nulo generó tensiones en la teoría del éter, pero no produjo inmediatamente su abandono.

y el marco teórico que lo sustentaba.

Ante este factor, surgieron intentos por sostener la teoría mediante una serie de ajustes, como las propuestas de Hendrik Lorentz y George FitzGerald, quienes plantearon la contracción de los cuerpos en la dirección del movimiento, así como los aportes de Henri Poincaré sobre el tiempo y la sincronización.

Se le deben importantes aportaciones en los campos de la termodinámica, la radiación, el magnetismo, la electricidad y la refracción de la luz. Formuló conjuntamente con George Francis FitzGerald una teoría sobre el cambio de forma de un cuerpo como resultado de su movimiento; este efecto, conocido como contracción de Lorentz-FitzGerald, cuya representación matemática de ella es conocida con el nombre de transformación de Lorentz, fue una más de las numerosas contribuciones realizadas por Lorentz al desarrollo de la teoría de la relatividad. Fue, al igual que Henri Poincaré, uno de los primeros en formular las bases de la teoría de la relatividad (frecuentemente atribuida primaria o solamente a Albert Einstein) (Anamat, 2007, p. 3)

Lo anterior, se puede visualizar de la siguiente manera: Sea c la velocidad de la luz. Además, en la Teoría de la Relatividad de Albert Einstein, la fórmula de contracción de Lorentz es:

$$L = L_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

Esta expresión especifica la relación entre la longitud L de un objeto que se mueve a una velocidad v , con respecto a un observador y su longitud L_0 en reposo. Se propone estudiar el comportamiento de esta función cuando la velocidad v aumenta, considerando la longitud inicial

$$L_0 = 1.$$

Sin embargo, estas explicaciones no transformaban el problema de fondo, sino que intentaban preservar el modelo existente. Entonces, el cambio decisivo llegó en 1905 con Albert Einstein, el cual abandono la idea de éter y postuló la constancia de velocidad de luz como principio fundamental. Por ende, esto implicó una reformulación profunda de los conceptos espacio y tiempo, modificando lo que parecía un fracaso experimental en uno de los referentes claves de la física al transformar radicalmente la comprensión de la realidad.

Evolución histórica en torno al experimento de Michelson–Morley

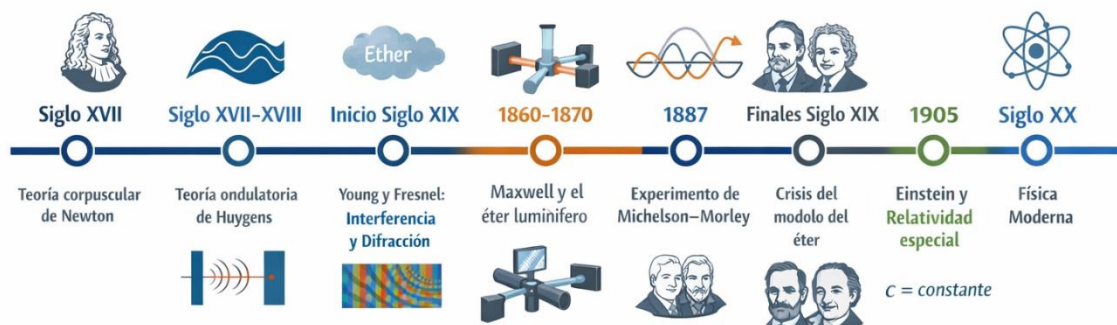


Imagen 1. Evolución histórica del experimento de Michelson-Morley. (OpenAI, 2026)

De acuerdo con esto, la imagen representa y sintetiza el proceso histórico que dio lugar al experimento, evidenciando con ello que su surgimiento no ocurrió de manera aislada, sino como un resultado de diversas transformaciones en la física.

2.1. Fundamentos del experimento de Michelson–Morley

El diseño del experimento de Albert A. Michelson y Edward W. Morley responde directamente a la necesidad de hacer medible un fenómeno que, en principio, no podía observarse de forma directa; es decir, el supuesto movimiento de la Tierra a través del éter, por lo que su construcción no puede entenderse solo como un desarrollo técnico, sino como una forma concreta de materializar una hipótesis teórica. En este sentido, Michelson diseña el interferómetro como un dispositivo capaz de comparar el tiempo de recorrido de la luz en dos direcciones perpendiculares, partiendo de la idea de que, si existía un “viento de éter”, la luz no tardaría lo mismo en recorrer ambos trayectos, lo que generaría un desfase observable en las franjas de interferencia, siendo esta una estrategia clave para hacer visible una diferencia extremadamente pequeña. El funcionamiento del interferómetro se basa en dividir un haz de luz en dos, hacer que cada uno recorra un camino distinto y luego recombinarlos, de modo que cualquier diferencia en los tiempos de recorrido se traduce en un patrón de interferencia, lo cual convierte al instrumento en una herramienta de alta precisión para detectar variaciones mínimas (Cassini & Levinas, 2005).

Sin embargo, es importante reconocer que el diseño del experimento no fue definitivo desde el inicio, ya que el primer intento realizado en 1881 presentó limitaciones tanto teóricas como experimentales, relacionadas, por ejemplo, con errores en el análisis del movimiento en la dirección perpendicular y con la sensibilidad del instrumento, lo que llevó a replantear el experimento y realizar una versión mejorada en 1887 junto a Morley (López, 2011). En esta segunda versión, el interferómetro fue perfeccionado para aumentar la precisión de la medición, ampliando la distancia efectiva recorrida por la luz mediante múltiples reflexiones, lo que permitía que cualquier diferencia en los tiempos se amplificara y fuera más fácil de detectar; mostrando, cómo el diseño experimental no es estático, sino que se ajusta en función de los problemas encontrados y de las críticas de la comunidad científica.

De esta forma, el diseño del experimento no solo constituye una solución técnica, sino que también da cuenta del proceso de construcción colectiva del conocimiento, en el cual intervienen hipótesis, errores, ajustes y reformulaciones. Esto refleja que la práctica científica

implica una tensión constante entre lo que se espera encontrar y aquello que efectivamente puede medirse.

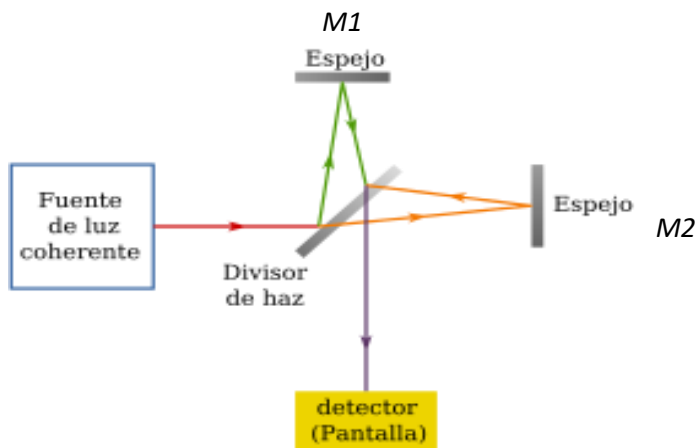


Imagen 2. Esquema del fundamento. Tomado de: Wikimedia Commons de Nahuel.necochea

En esta línea, más que un experimento aislado Michelson y Morley desarrollan esta estrategia para poner a prueba este sistema tan amplio de ideas, donde convergen la teoría ondulatoria de la luz, la hipótesis del éter y los principios de mecánica. Por ende, los fundamentos del experimento se encuentran profundamente vinculados a las concepciones científicas de la época y la comprensión también en este momento, entre movimiento, espacio y luz (Cassini & Levinas, 2005).

2.2. Diseño experimental y metrología: óptica vs. acústica

Inicialmente, se parte de la imagen 2, la cual presenta el funcionamiento del interferómetro diseñado por Michelson. Se visualiza la fuente de luz coherente que emite un haz que llega al divisor de haz, el cual cumple una función de separación de la luz en dos trayectorias perpendiculares. Justamente, cada uno de estos haces, se dirige hacia un espejo distinto (M1, M2) representados en la imagen como los espejos ubicados en direcciones perpendicularmente opuestas (uno en la parte superior y otro hacia la derecha).

Posteriormente, los haces son reflejados de regreso hacia el divisor, donde se recombinan y continúan hacia el detector.

De esta forma, se representa cómo la división del haz en trayectorias perpendiculares posibilita comparar diferencias de recorrido y de fase, ya que cualquier variación en la distancia recorrida por cada haz se manifiesta en el patrón de interferencia observado en el detector.

Ahora bien, desde una perspectiva de metrología comparada, resulta especialmente interesante contrastar este diseño con su equivalente acústico. Mientras el experimento óptico de Michelson busca medir un desfase espacial; es decir, una diferencia en el camino recorrido por la luz, el interferómetro acústico de ultrasonido (por ejemplo, a 40kHz con transductores piezoeléctricos) se enfoca en un desfase temporal.

En este modelo acústico, el aire sí actúa como un medio material efectivo, una especie de “éter”. Cuando este medio se pone en movimiento, por ejemplo, mediante ventiladores, se genera un corrimiento de fase que puede observarse directamente en un osciloscopio. Además, es posible incorporar cavidades resonantes, similares a las utilizadas en el experimento del tubo de Kundt, el cual consiste en:

El tubo de Kundt es una demostración clásica de la formación de ondas estacionarias. Consiste en un tubo transparente, cerrado por sus extremos. Conectando una fuente de ondas sonoras se consigue que dentro del tubo se formen ondas estacionarias. Dentro del tubo se introducen pequeños cuerpos, tradicionalmente polvo de corcho, de modo que, si la frecuencia es la adecuada, dichos cuerpos se acumulan en los nodos de desplazamiento de la onda estacionaria y permiten visualizarla. Las ondas acústicas son longitudinales, las moléculas del gas sufren desplazamientos muy pequeños acompañados de incrementos y disminuciones de presión. Para obtener ondas estacionarias en un tubo sonoro los extremos deben ser vientres o nodos de la onda. Si el tubo está cerrado por los dos extremos la condición es que ambos puntos sean nodos de desplazamiento, es decir, puntos de amplitud nula. Esto sólo se produce para determinados valores de la frecuencia (Madrid, s.f., p. 34).

Por lo tanto, la diferencia clave en acústica, es que estos efectos son completamente predecibles y coherentes con la teoría del arrastre del medio. En cambio, en el caso de la luz, el experimento de 1887 no mostró el comportamiento esperado, convirtiéndose en un problema fundamental que la física clásica no logró explicar.

2.2.1. El puente conceptual entre el medio material y la contracción del espacio

El análisis de las ondas mecánicas en la educación media como el sonido y las vibraciones de una cuerda, establece que toda perturbación necesita un medio físico para transmitirse. Al aplicar esta idea a la luz, la física del siglo XIX introduce el concepto de éter luminífero como el medio material fundamental. Sin embargo, el experimento realizado por Michelson-Morley evidencia la inexistencia de un "viento de éter". Este hallazgo, que resultó ser nulo provocó una paradoja: la velocidad de la luz se mantiene constante sin importar el movimiento del observador. Para preservar la validez de las ecuaciones clásicas, científicos como Lorentz y FitzGerald sugirieron que los objetos físicos se contraen mecánicamente en la dirección de su movimiento a través del éter. Este mecanismo, que al principio se consideró una modificación artificial, se convirtió en el elemento conceptual esencial que facilitó la transición hacia la relatividad especial, donde ya no se consideraban absolutos el tiempo y el espacio.

2.3. Implicaciones en la física clásica y transición hacia la relatividad especial

Desde los inicios de la física con Isaac Newton, la idea del éter estuvo presente como un medio que permitía explicar cómo se transmiten las fuerzas a distancia. Para comprender de mejor manera este apartado, se especifica de la siguiente forma:

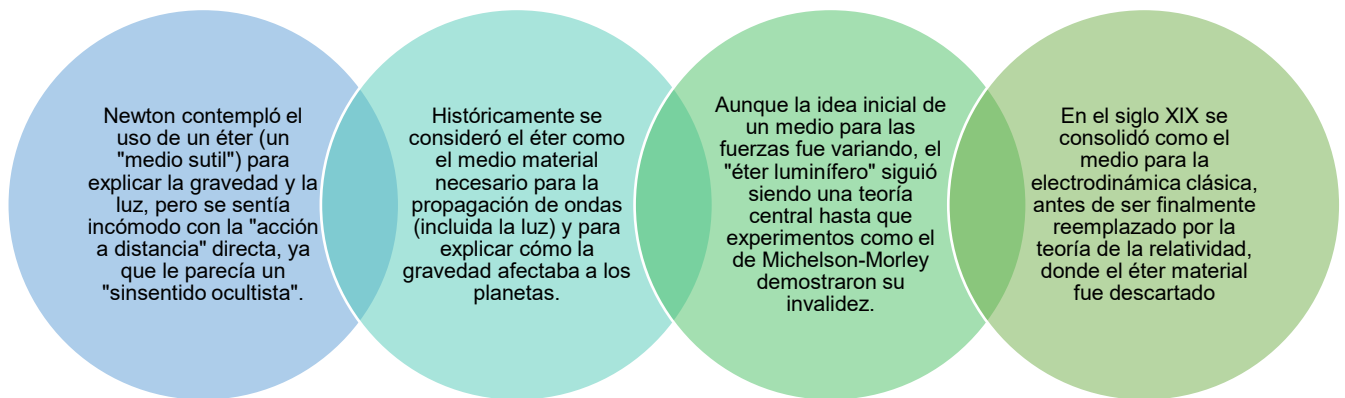


Imagen 3. El éter como medio para explicar cómo se transmiten las fuerzas a distancia. Tomado de: (Vega, 2018, p. 423-447).

Igualmente, en una carta de 1693 dirigida a Bentley, Newton expresó su rechazo a la idea de que un cuerpo pudiera influir sobre otro a través del vacío sin ningún tipo de intermediario, considerándolo algo absurdo, Al respecto, Escohotado, (1987) menciona:

Una gravedad innata, inherente y esencial a la materia, por la cual un cuerpo pueda actuar sobre otro a distancia a través de un vacío [...] me parece un absurdo tan grande que no creo que pueda incurrir en él nadie con facultad competente de pensamiento en temas filosóficos (p. 104)

Sin embargo, evitó afirmar públicamente la existencia del éter, lo que se relaciona con su conocida postura de “no hacer hipótesis” (Newton, 1687). Ahora bien, durante la segunda mitad del siglo XIX surgieron diferentes versiones del éter, como el éter luminífero y el electromagnético, y se desarrollaron experimentos para intentar medir sus propiedades. Uno de los más importantes fue el realizado en 1887 por Albert A. Michelson y Edward Morley. Sin embargo, sus resultados fueron negativos, ya que no lograron detectar el movimiento de la Tierra a través del éter como se esperaba.

De este modo, con frecuencia se asocia la desaparición del éter con la teoría de la relatividad especial de Albert Einstein, pero esta relación no es del todo precisa. De hecho, el propio Einstein retomó una idea similar en su teoría general, al proponer un “vacío” con propiedades físicas capaz de influir en los fenómenos gravitacionales. Por otro lado, la interpretación del experimento de Michelson y Morley llevó a propuestas como la contracción de Lorentz-Fitzgerald y a la idea, planteada por Henri Poincaré, de que el movimiento de la Tierra respecto al éter no podía detectarse mediante experimentos realizados en el laboratorio.

En la actualidad, muchos físicos consideran que la evidencia experimental tuvo un papel limitado en el desarrollo de la relatividad especial. Incluso, el historiador Gerald Holton sugirió que el experimento de Michelson y Morley tuvo una influencia mínima en el trabajo de Einstein, al punto de que su teoría podría haber surgido aun sin dicho experimento (Holton, 1969). No obstante, la posición de Einstein frente a este tema no es del todo clara. Por un lado, criticó a algunos historiadores por no comprender cómo piensan los científicos (Shankland, 1963), pero por otro, en varias ocasiones afirmó que los fundamentos de su teoría no dependían del experimento de Michelson y Morley, e incluso dudaba si lo conocía antes de 1905.

3. Capítulo II. Fundamentación teórica y pedagógica de los fenómenos ondulatorios de la luz

La comprensión de la luz ha ocupado un lugar central en la construcción del conocimiento científico, generando distintas formas de interpretación a lo largo del tiempo. Una de ellas es la perspectiva ondulatoria, la cual resultó decisiva para ofrecer explicaciones frente a fenómenos como la difracción y la interferencia, las cuales no podían ser abordadas desde enfoques anteriores. Esto no solo transformó la manera de concebir la luz, sino también impulso el desarrollo de nuevos marcos teóricos y dispositivos experimentales en la física moderna. Por ende, este capítulo se desarrollan fundamentos físicos y matemáticos que sustentan dicha perspectiva. De este modo, se analizan las condiciones bajo las cuales, estos fenómenos se hacen evidentes, así como su formalización a través de conceptos como la fase y el camino óptico. Finalmente, se aborda el interferómetro de Albert A. Michelson como un ejemplo experimental que articula estos principios, mostrando como la relación entre teoría-experimentación ha sido clave, no solo para explicar el comportamiento de la luz, sino también para replantear los supuestos de la física clásica.

3.1. Naturaleza ondulatoria de la luz

La comprensión de la luz como fenómeno ondulatorio, se consolidó en el siglo XIX, gracias a Young y Fresnel, quienes explicaron los fenómenos como la difracción y la interferencia. En este sentido, la luz se entiende como una perturbación, la cual se propaga en el espacio, caracterizada por magnitudes como la amplitud, la frecuencia y la fase (Cornejo, 2018). Justamente, esta idea es fundamental, dado que permiten distinguir entre el movimiento medio y la propagación de la onda misma, siendo esta última la que se desplaza con una velocidad determinada (López, 2007). Así pues, se comprende que la luz es una onda electromagnética transversal que no requiere un medio material para propagarse, lo cual marcó un cambio conceptual frente a modelos anteriores basados en el éter.

Ahora bien, la descripción ondulatoria de la luz, se apoya en las ecuaciones del electromagnetismo, las cuales permiten entenderla como una oscilación conjunta de campos eléctricos y magnéticos que se propagan en el vacío. Esta es una característica que diferencia a la luz de las ondas mecánicas, como lo son el sonido, el cual depende de un medio material

para existir. Entonces, la naturaleza ondulatoria de la luz se evidencia en fenómenos como la interferencia y la difracción, así como su comportamiento periódico, el cual se describe desde funciones matemáticas que relacionan espacio y tiempo.

Por lo tanto, estas representaciones permiten analizar propiedades como la longitud de onda, la frecuencia, la velocidad de propagación, estableciendo una base cuantitativa para el estudio de los fenómenos ópticos (Freyre, 2017). De este modo, el enfoque ondulatorio no solo posibilitó explicar la variedad amplia de fenómenos físicos, sino que concibe las bases para desarrollar, posteriormente en la física moderna, al vincular la luz con el electromagnetismo y abrir camino a nuevas perspectivas sobre su naturaleza.

3.1.1. Transposición didáctica de las Leyes de Maxwell

Para los estudiantes de educación media, las leyes de Maxwell se presentan desde un enfoque conceptual y fenomenológico, dejando de lado el uso del cálculo multivariable:

Ley de Gauss para el campo eléctrico: Las cargas eléctricas actúan como generadoras de líneas de campo. Las cargas positivas las originan mientras que las negativas las atraen.

Ley de Gauss para el campo magnético: No existen monopolos magnéticos que estén aislados. Cada imán tiene un polo norte y un polo sur que son inseparables.

Ley de Faraday-Lenz: Un campo magnético que varía con el tiempo da lugar a la creación de una corriente y un campo eléctrico. Esta ley es fundamental para el funcionamiento de los generadores eléctricos.

Ley de Ampère-Maxwell: Una corriente eléctrica o un campo eléctrico que cambia con el tiempo genera un campo magnético a su alrededor.

Esta última ley es esencial para la estructura pedagógica. Permite explicar a los estudiantes comprender que la luz es una onda que se sostiene por sí misma: un campo eléctrico en oscila crea un cción provoca variaciones en el campo magnético el cual, a su vez, vuelve a regenerar el campo eléctrico. Este proceso se desplaza a través del vacío sin requerir un medio material.

3.2. Principio de superposición

El principio de superposición establece que: “cuando dos o más ondas coinciden en un mismo punto del espacio, la perturbación resultante es igual a la suma algebraica de las perturbaciones individuales” (López, 2007, p. 34). Este principio entonces, no solo explica la coexistencia de múltiples ondas en un mismo medio, sino que también es la base para comprender fenómenos más complejos como la interferencia. Ahora, en términos físicos, implica que las ondas no se anulan entre sí al encontrarse, sino que se combinan temporalmente, manteniendo su identidad una vez que dejan de interactuar; por lo tanto, esta característica resalta el carácter lineal de muchos sistemas ondulatorios y permite analizar situaciones complejas a partir de la suma de soluciones más simples.

Desde una perspectiva matemática, la superposición se expresa mediante la suma de funciones de onda, lo que facilita la modelación de fenómenos ondulatorios a través de herramientas como funciones trigonométricas o números complejos.

El principio nos dice que:

Dos ondas que son representadas por las funciones:

$$y_1(x, t) \quad \text{y} \quad y_2(x, t)$$

Generan una onda resultante $y(x, t)$ que se calcula:

$$y(x, t) = y_1(x, t) + y_2(x, t)$$

Siendo esto para ondas armónicas con misma frecuencia y amplitud, se pueden formular:

$$y_1(x, t) = A \sin(kx - \omega t)$$

$$y_2(x, t) = A \sin(kx - \omega t + \varphi)$$

Donde φ simboliza la diferencia de fase entre las ondas, A es la Amplitud de la onda, siendo k el número de onda y finalmente ω quien es la frecuencia angular.

Lo anterior, se puede relacionar desde una perspectiva didáctica, dado que la superposición permite vincular la representación matemática de las ondas con su manifestación

experimental, facilitando la comprensión del fenómeno físico y promoviendo un aprendizaje más significativo (Freyre, 2017). En este sentido, el principio actúa como un puente entre la teoría y la experimentación, siendo clave para interpretar fenómenos observables como los patrones de interferencia

3.3. Interferencia de ondas electromagnéticas

La interferencia es un fenómeno que surge directamente del principio de superposición y se manifiesta cuando dos ondas se combinan, generando patrones de variación en la intensidad de la señal resultante, así se evidencia la interacción de fases de ondas (Freyre, 2017). Lo anterior, permite comprender que la distribución de la intensidad no es uniforme, sino que presenta posiciones donde la señal se refuerza y otras donde se debilita o incluso se anula, todo depende de la relación de fase entre las ondas que interactúan, esto permiten comprender cómo la luz posee propiedades ondulatorias que determinan su comportamiento en distintos contextos físicos.

Además, este fenómeno no solo posee relevancia teórica, sino también experimental, ya que compone la base para el diseño de dispositivos ópticos y técnicas de medición de alta precisión, como los interferómetros. En este sentido, la interferencia se convierte en un elemento clave para comprender la relación entre los modelos matemáticos de las ondas y su manifestación en fenómenos observables. A partir de la relación de fase entre las ondas, la interferencia puede clasificarse en dos tipos principales:

Tipo de interferencia	Descripción	Resultado físico	¿Qué se observa?
Constructiva	Ocurre cuando las ondas están en fase (crestas con crestas y valles con valles).	Ocurre cuando las ondas están en fase (crestas con cresta). Ejemplo: Reflexión en películas	Colores brillantes debido al refuerzo de ciertas longitudes de onda

	La superposición de ondas es un concepto clave en la física que establece que, cuando dos o más ondas se encuentran en el mismo lugar y en el mismo momento, la perturbación total es la suma algebraica de cada una de las perturbaciones. Este fenómeno es crucial para entender la interferencia, ya sea constructiva o destructiva, que se presenta en diversos sistemas físicos, como son las ondas mecánicas, electromagnéticas y cuánticas (Serway y Jewett, 2014).	delgadas (como burbujas de jabón) La interferencia constructiva se produce cuando la diferencia de fase entre las ondas es un múltiplo entero de 2π, es decir: $\varphi = 2n\pi, n \in \mathbb{Z}$. En este escenario, las ondas están sincronizadas y sus amplitudes se combinan, resultando en una amplitud máxima: $y(x, t) = 2A \sin(kx - \omega t)$. Este fenómeno genera un aumento en la intensidad de la onda, lo que se puede observar en los patrones de interferencia de la luz (Young, 1802/2002).	
Destructiva	Ocurre cuando las ondas están en oposición de fase (crestas con valles).	Disminución o anulación de la amplitud e intensidad. Ejemplo: Franjas oscuras en el experimento de doble rendija.	Zonas donde la luz desaparece o disminuye notablemente

		La interferencia destructiva ocurre cuando la diferencia de fase se considera un múltiplo impar de π: $\varphi = (2n + 1)\pi, n \in \mathbb{Z}$. Aquí, las ondas están desincronizadas, provocando una cancelación total o parcial: $y(x, t) = 0$ cuando las amplitudes son iguales. Este fenómeno es crucial en áreas como la cancelación de ruido y el estudio de ondas estacionarias (Halliday, Resnick y Walker, 2013).	
--	--	---	--

Tabla 1. Tipos de interferencia y sus características físicas. Elaboración propia

Estos patrones de máximos y mínimos de intensidad constituyen la base de los interferogramas, ampliamente utilizados en experimentos ópticos y aplicaciones tecnológicas (López, 2007)

3.4. Condiciones de coherencia y descripción matemática de la interferencia

Es importante mencionar que, para que la interferencia sea observable de manera estable, se requiere que las ondas instauren una relación de fase constante en el tiempo, condición conocida como coherencia. Es decir, “cuando esta relación se pierde, el patrón de interferencia se vuelve inestable o desaparece, lo que dificulta su observación y análisis” (López, 2007, 43). Por lo tanto, la coherencia se convierte en un requisito primordial en los

experimentos ópticos, ya que permite la formación de patrones definidos de interferencia y su estudio cuantitativo.

Ahora, desde el punto de vista matemático, la interferencia puede simbolizarse mediante: “funciones sinusoidales que dependen de la posición y el tiempo, incorporando parámetros como la frecuencia angular, el número de onda y la fase” (López, 2007, p. 44). Es importante indicar que la fase es un elemento central en este fenómeno, ya que establece el estado de oscilación de la onda en un punto específico y, por tanto, la forma en que interactúa con otras ondas. Por esto,

La diferencia de fase entre dos ondas está directamente relacionada con la diferencia de camino óptico que recorre cada una, lo cual hace referencia a que dicha discrepancia corresponde a múltiplos enteros de la longitud de onda, se produce interferencia constructiva; mientras que, si equivale a múltiplos semienteros, se genera interferencia destructiva (Freyre, 2017, p. 46).

Por esto, la correspondencia entre coherencia, fase y camino óptico no solo permite explicar la formación de los patrones de interferencia, sino también cuantificarlos con precisión, organizando en la base del análisis experimental en óptica.

3.5. El interferómetro de Michelson como aplicación experimental

Inicialmente, su labor se basa en fragmentar un haz de luz en dos trayectorias diferentes y posteriormente se recombinan para provocar un patrón de interferencia observable, el cual depende de las diferencias en el camino óptico recorrido por cada haz, lo que posibilita el detectar variaciones extremadamente pequeñas en distancia.

Es importante mencionar que este elemento, fue diseñado originariamente para detectar el movimiento relativo de la Tierra respecto al éter, aprovechando la alta sensibilidad de los patrones de interferencia ante cambios en la fase de las ondas luminosas (Cornejo, 2018, p. 37). En este sentido,

El interferómetro compone una aplicación directa de los principios de superposición, coherencia e interferencia de ondas electromagnéticas. Entonces, desde el experimento, se buscaba demostrar variaciones en la velocidad de la luz asociadas al supuesto “viento de éter”. Sin embargo, los resultados obtenidos no manifestaron diferencias reveladoras en los patrones de interferencia, lo que implicó una ruptura con los pronósticos de la física clásica (Cornejo, 2018, p.37).

De este modo, el interferómetro no solo permitió estudiar con precisión los fenómenos de interferencia, sino también se convirtió en un instrumento clave para discutir modelos teóricos establecidos. Justamente, se evidencia el cómo un fenómeno físico, primariamente comprendido desde la teoría ondulatoria, puede tener profundas discrepancias en la construcción del conocimiento científico, al articular la experimentación, la formulación matemática y la reinterpretación de conceptos fundamentales como el espacio, el tiempo y la naturaleza de la luz.

3.6. Fundamentación pedagógica

Para empezar, la enseñanza de la física ha desarrollado desde colocaciones tradicionales, las cuales estaban centradas en la transmisión de contenidos hacia modelos que examinan el papel activo del estudiante en la construcción del conocimiento. Por lo tanto, se retoma la notabilidad de la orientación constructivista, la cual plantea que el aprendizaje no es un proceso pasivo, sino una restauración interna que se apoya en los saberes previos del sujeto y en su interacción con el entorno. Al respecto, se menciona que:

Las propuestas didácticas que buscan un aprendizaje significativo en física deben partir de la interacción entre el estudiante y el fenómeno, promoviendo la apropiación del conocimiento a través de experiencias como el laboratorio, el uso de tecnologías y la resolución de situaciones problemáticas contextualizadas (Ardila & Arroyave, 2012).

De esta forma, se percibe que el aprendizaje significativo se concibe como un eje central en la enseñanza de las ciencias, ya que admite que los nuevos conocimientos se completen en la

organización cognitiva del estudiante de forma afin y perdurable. Lo anterior, implica que los contenidos deben ser mostrados en relación con contextos existentes, favoreciendo la comprensión e impidiendo el aprendizaje memorístico. Asimismo, el aprendizaje experiencial ha señalado ser especialmente pertinente en la enseñanza de fenómenos físicos, dado que: “la experimentación y el trabajo con actividades teórico-experimentales permiten vincular el fenómeno físico con su representación matemática, favoreciendo la comprensión conceptual de la interferencia y de otros fenómenos ondulatorios” (Freyre, 2017, p. 5).

En este marco, el uso de la historia y la epistemología de la ciencia igualmente adquiere relevancia, ya que permite comprender el conocimiento científico como un asunto en cimentación, beneficiando la reflexión crítica en los alumnos , a través del: trascender la visión puramente matemática de la física, al incorporar elementos de análisis, discusión y reflexión sobre la construcción del conocimiento, lo que contribuye al desarrollo de procesos metacognitivos en la formación de los estudiantes (Castiblanco & Nardi, 2013)

Ahora, específicamente en el caso de la enseñanza de ondas e interferencia, esta necesidad cobra especial relevancia, dado el alto nivel de exigencia que caracteriza estos fenómenos, ya que a diferencia de otros contenidos de la física que pueden ser observados de manera directa, las ondas implican procesos que no siempre son evidentes a simple vista, como lo son: la propagación de perturbaciones, la superposición o la relación de fase entre dos señales, exigiendo que el estudiante construya representaciones mentales complejas que articulen lo observable con modelos teóricos y matemáticos. En este sentido, la interferencia compone un caso exclusivamente provocador, ya que no solo demanda percibir el comportamiento individual de las ondas, sino también su interacción; en este caso, el estudiante debe demostrar cómo dos fenómenos que cohabitan en el mismo espacio no se invalidan de forma definitiva, sino que generan modelos de refuerzo y cancelación que dependen de variables como la fase y el camino óptico, así pues, esta lógica genera una consecuencia contraintuitiva, pues se aleja de la experiencia cotidiana y de modelos causales simples.

Adicional a ello, la comprensión de estos fenómenos involucra una evolución entre diferentes horizontes de representación: *el fenomenológico* (lo que se observa, como franjas claras y oscuras), *el conceptual* (definición en términos de superposición e interferencia) y *el*

matemático (expresión mediante funciones de onda y relaciones de fase). De ello, el conflicto radica en que muchos estudiantes no logran fundar enlaces afines entre estos niveles, lo que genera aprendizajes fragmentados o superficiales.

Por otra parte, la enseñanza tradicional suele robustecer estas necesidades al centrarse en la resolución de ejercicios algebraicos sin una apropiada contextualización *experimental* o *conceptual*, lo cual lleva a que los estudiantes utilicen métodos sin comprender el fenómeno que representan, disminuyendo la construcción de significado. En contraste, enfoques pedagógicos que integran la experimentación, la visualización y la modelación, admiten reducir este nivel de abstracción, al ofrecer variadas formas de aproximarse al fenómeno.

De esta forma, la enseñanza de las ondas y la interferencia demanda habilidades didácticas que beneficien la construcción gradual del conocimiento, partiendo de prácticas concretas y avanzando hacia niveles más abstractos, lo cual no solo facilita la comprensión conceptual, sino que también permite desarrollar habilidades de pensamiento científico, como: la modelación, la interpretación de representaciones y la relación entre teoría y evidencia empírica, esto permite corresponder con enfoques como el aprendizaje activo y el aprendizaje experiencial, los cuales resaltan la calidad de la experimentación y la interacción directa con los fenómenos físicos. En particular, el trabajo teórico-experimental favorece al vincular la representación matemática con la observación del fenómeno (Freyre, 2017). De igual forma, investigaciones recientes evidencian que los estudiantes presentan mejores resultados cuando anuncian en actividades prácticas, simulaciones o experiencias de laboratorio, ya que esto fortalece el cambio conceptual (Soto-Vergel et al., 2020).

3.7. Dificultades comunes en la enseñanza de ondas e interferencia

El campo de la enseñanza de la física nos muestra que el fenómeno de interferencia y las ondas, presentan diversos obstáculos en la comprensión de conceptos, tanto didácticos como conceptuales. Justamente, una de las dificultades más grandes es la naturaleza abstracta de estos fenómenos, lo que hace complicado entenderlos cuando solo se los trata a través de representaciones teóricas o matemáticas. Efectivamente, varios estudios indican que los alumnos tienden a tener concepciones alternativas acerca de la naturaleza de las ondas que complican el aprendizaje efectivo, como por ejemplo confundir el movimiento de la onda

con el del medio, o entender la interferencia como un simple "choque" entre estas (Vera Tapias, 2012). Si no se tratan explícitamente en el aula, estas ideas son un obstáculo para construir un conocimiento científico sólido.

Asimismo, el hecho de que prevalezcan métodos tradicionales enfocados en resolver problemas fuera de contexto, favorece con una interpretación superficial de los conceptos, lo cual se evidencia en que existen grandes niveles de dificultad en asuntos como la interferencia y el electromagnetismo (Soto-Vergel, López-Bustamante, Medina-Delgado, Gallardo-Pérez y Guevara-Ibarra , 2020). En estas situaciones, el aprendizaje regularmente se restringe a monopolizar fórmulas de manera mecánica, sin concebir verdaderamente los fenómenos físicos que esas expresiones representan. Esto produce que los alumnos sean competentes de resolver ejercicios usando algoritmos, pero no logren explicar efectos, predecir conductas o vincular conceptos con contextos reales.

A esto se añade la separación que ocurre con periodicidad entre la experimentación y la teoría; es decir, si los alumnos no tienen la oportunidad de observar, manipular o interactuar con los fenómenos, su alcance se limita a un plano vago, lo que no permite crear conexiones relevantes entre los conceptos y su representación en la realidad (Freyre, 2017). El progreso de capacidades científicas fundamentales, como la transformación de hipótesis, la interpretación de evidencias o la creación de modelos explicativos, se ve restringido debido a esta falta de relación.

Por lo tanto, estos retos no solo sitúan de evidentes necesidades en la comprensión de contenidos específicos, sino también en cómo se constituyen los métodos educativos. Esto hace que sea preciso reflexionar las maneras didácticas, incluyendo aspectos que se establezcan en los conocimientos previos de los alumnos, incorporen la experimentación y promuevan el progreso del conocimiento. De esta manera, se facilita una mejor y más explicativa razón de los fenómenos ondulatorios.

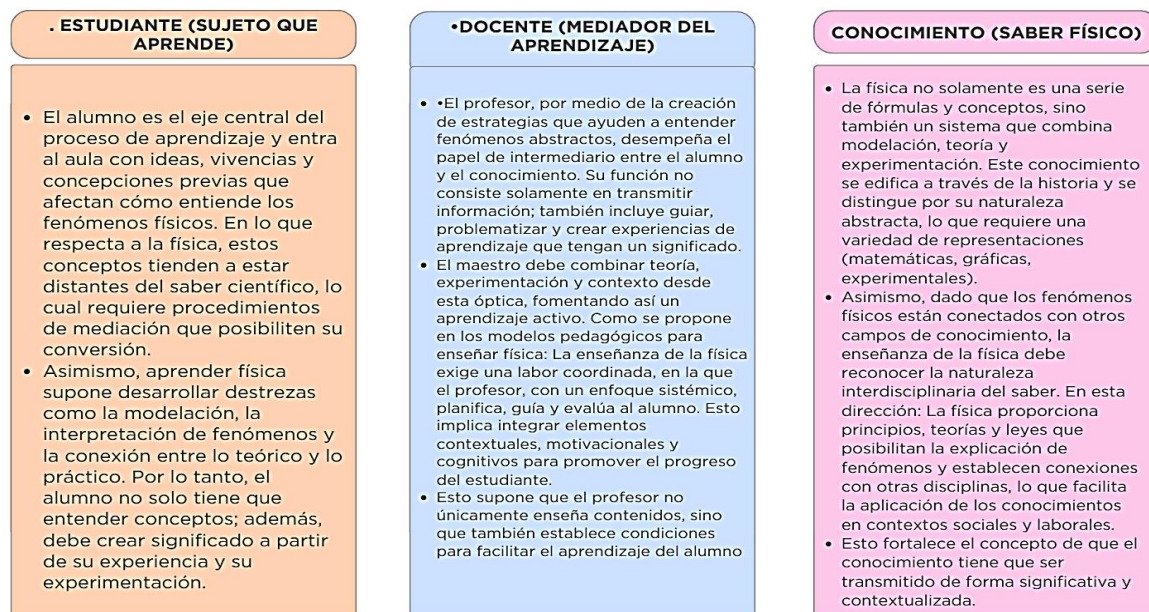
3.8. El experimento de Michelson–Morley en la tríada didáctica de la enseñanza de la física

Integrar el experimento de Michelson–Morley en el aula de clase es un medio pedagógico que hace posible relacionar elementos físicos, históricos y epistemológicos. Esto se debe a

que, desde un aspecto formativo, este experimento no solo muestra el fenómeno de interferencia, además manifiesta cómo la ciencia avanza a través del análisis de los efectos experimentales y la solución de problemas.

Asimismo, su afiliación en el aula, puede ampararse en actividades teóricas y experimentales, simulaciones o ejemplares que forjen la visualización de los patrones de interferencia y exploren sus resultados. Por lo que se ha dicho, este tipo de formas atenúa el vínculo entre las concepciones abstractas y su uso práctico, fortaleciendo así el aprendizaje significativo (Freyre, 2017). Además, los alumnos pueden ir construyendo su conocimiento de forma gradual, desde sus ideas iniciales hasta llegar a explicaciones científicas más complejas, gracias a la enseñanza que se basa en secuencias didácticas con instantes de reflexión, experimentación y discusión (Peña, 2024).

Entonces, la enseñanza de la física puede ser entendida, por lo que se mencionó antes, a partir de una relación activa entre tres componentes esenciales: el estudiante, el docente y el conocimiento. Estos elementos interactúan continuamente durante el proceso educativo, ya que esta tríada no es inmutable, sino que se establece como un sistema en el que cada elemento afecta y modifica a los demás.



*Gráfico 1. Relación entre docente, estudiante y conocimiento en la enseñanza de la física.
Elaboración propia*

3.9. El experimento de Michelson–Morley en la tríada didáctica desde el aprendizaje significativo

Incorporar el experimento de Michelson–Morley a la tríada didáctica (profesor–estudiante–conocimiento) posibilita la articulación significativa de los procesos de enseñanza y aprendizaje de la física, en particular en asuntos complejos como son la interferencia y la naturaleza luminosa. Este experimento debe ser considerado no solo como un contenido conceptual o histórico, sino también como una herramienta pedagógica que vincula los tres componentes de la tríada.

El docente, desde su relación con el conocimiento, se ocupa de implementar el experimento. Para ello, elige y organiza sus elementos fundamentales (interferencia, camino óptico y resultados nulos) para transformarlos en objetos de enseñanza que sean comprensibles. Esto supone no únicamente describir el procedimiento experimental, sino también situarlo en su contexto histórico y destacar su función en la conversión de la física clásica a la relatividad. Según Ausubel, (1968), este proceso consiste en estructurar el contenido de tal modo que tenga el potencial de ser significativo, o sea, que esté organizado lógicamente y vinculado con ideas previas significativas para el alumno.

En la relación entre el docente y el estudiante, el experimento se transforma en un instrumento de mediación pedagógica que posibilita cuestionar lo que se sabe. El profesor dirige al estudiante en la interpretación del fenómeno mediante preguntas orientadoras, simulaciones o representaciones del interferómetro. De esta manera, fomenta que el estudiante reflexione sobre las razones por las cuales los resultados logrados no se ajustaron a las predicciones teóricas de aquel entonces. Esto está directamente relacionado con la propuesta de Ausubel, quien sostiene que: "Lo que el estudiante ya sabe es el elemento más relevante que afecta su aprendizaje; descubra esto y enséñelo en consecuencia" (Ausubel, 1968). Así, la enseñanza del experimento no comienza desde cero; se basa en las ideas que el alumno ya tiene, lo que facilita la reestructuración de sus conceptos.

El experimento, en la relación entre el estudiante y el conocimiento, permite que se construya un significado a partir de la interacción con el fenómeno. El alumno no solo presta atención

a patrones de interferencia, sino que debe demostrar, corresponder con conceptos como fase y superposición, y percibir sus implicaciones teóricas. Este proceso beneficia el cambio conceptual, al verificar ideas antepuestas con certeza experimental. En coherencia con el aprendizaje significativo, esto implica que: “El aprendizaje significativo ocurre cuando una nueva información se relaciona de manera sustantiva y no arbitraria con lo que el estudiante ya sabe” (Ausubel, Novak & Hanesian, 1983).

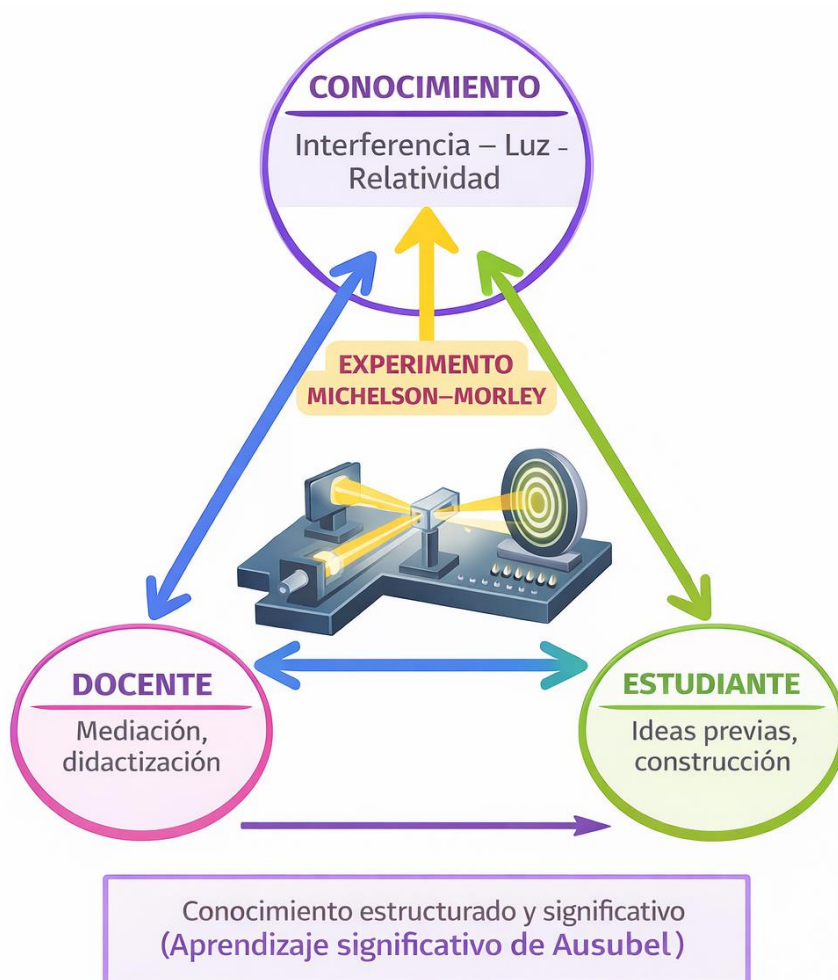


Gráfico 2. Tríada didáctica en la enseñanza de la física mediada por el experimento de Michelson–Morley. Elaboración (OpenAI, 2026)

De acuerdo con lo anterior, el gráfico simboliza la tríada didáctica en la enseñanza de la física, donde el experimento de Michelson–Morley ejerce como elemento articulador entre el profesor, el estudiante y el conocimiento. Desde la perspectiva de Ausubel (2002): “Este

experimento opera como un ordenador que facilita el aprendizaje significativo, aprobando que los alumnos enlacen ideas neutras con una experiencia estructurada. De esta forma, se origina la creación de significados y la innovación conceptual” (p.56). En otras palabras, el experimento de Michelson-Morley instruye la manera en que un fenómeno físico logra prevalecer su dimensión conceptual y transformarse en un eje articulador del aprendizaje; precisamente, al ajustar teoría, experimentación y contexto se adecua con el estudiante generando conocimientos útiles y significativos, dejando atrás el aprendizaje memorístico.

Por lo tanto, integrar este experimento en la tríada didáctica, no solo hace más sencillo concebir la interferencia, sino que también facilita exponer el carácter de la ciencia, al revelar cómo los resultados de un experimento pueden resistir teorías ya existentes y trasladar a nuevas maneras de interpretar la realidad. Desde la perspectiva de Ausubel (2002), esto apoya el concepto de que el aprendizaje en física debe dirigirse a cimentar significados, en los que los conceptos no se asimilan aislados, sino que se concentran a una estructura epistemológica más amplia y afín.

3.10. Estrategias de evaluación del aprendizaje

La valoración del aprendizaje en la enseñanza de la física, tiene que ir más allá de automatizar consecuencias finales y situar en concebir las técnicas, mediante las cuales los alumnos desarrollan conocimiento. En este sentido, se propone una evaluación formativa que conduzca el progreso del aprendizaje y facilite manifestar cambios, dificultades y avances en las estructuras conceptuales de los alumnos.

Según el concepto de aprendizaje significativo de Ausubel (2002), la evaluación no debe ceñirse a verificar la memorización de contenidos, sino que tiene que encaminar en expresar cómo los nuevos saberes se concentran de manera fundamental en la organización cognitiva del alumno. Esto significa valorar no solo el conocimiento del estudiante, sino también cómo lo vincula, lo entiende y lo emplea en distintos espacios.

En este contexto, una habilidad importante es el manejo de evaluaciones diagnósticas al principio y de contraste al final, que permiten diferenciar el estado inicial de los conocimientos con lo estudiado posteriormente de aplicar la propuesta didáctica. Este tipo de

evaluación es decisivo para establecer las ideas previas, que a menudo son erróneas en asuntos como interferencia y ondas, y examinar cómo se modifican con la mediación pedagógica. Como ha quedado señalado, esta representación facilita la valoración del progreso en la comprensión de conceptos y en la representación matemática de los fenómenos físicos (Freyre, 2017, p.65).

Además, la valoración debe ajustar movimientos que vinculen la teoría con la experimentación, particularmente mediante el estudio de situaciones como el experimento de Michelson–Morley. En esta situación, es posible diseñar tareas como la manifestación sobre sus derivaciones teóricas, la interpretación de esquemas de interferencia o la explicación de los efectos alcanzados en los experimentos. Estas destrezas viabilizan la apreciación de no solamente lo que el estudiante sabe, sino también su destreza para formar significado, fundar relaciones conceptuales y provocar el pensamiento científico.

En consonancia con lo anterior, la evaluación podría comprender actividades prácticas, la solución de problemas contextualizados, el estudio de experiencias y la transformación de explicaciones cimentadas. Esto mitiga una valoración holística del aprendizaje, donde el alumno es estimado un agente activo en la creación del conocimiento. Por último, el uso de materiales como simulaciones, laboratorios y tecnologías digitales refuerza a diferenciar los métodos de evaluación, al hacer más fácil la visualización de fenómenos indeterminados y provocar un aprendizaje más dispuesto y significativo (Ardila & Arroyave, 2012). Además, estos materiales hacen posible la creación de realidades del aprendizaje más completas, como registros de experimentación, análisis de datos o interpretaciones gráficas. Es decir, estas habilidades componen una valoración coherente con el enfoque constructivista y el aprendizaje significativo, donde la atención no se centra solo en los resultados, sino también en los métodos de entendimiento, en la transformación de las ideas preliminares y en la destreza del alumno para representar y usar fenómenos físicos en diferentes contextos.

3.11. Articulación didáctica en el diseño de la guía

En esta investigación, la guía didáctica propuesta, se fundamenta en un enfoque constructivista que combina la intervención pedagógica, el aprendizaje significativo y la experimentación, con el objetivo de propiciar una comprensión profunda de los fenómenos físicos. Esta articulación reconoce a la necesidad de ir más allá de los aspectos habituales que

se enfocan en transmitir contenidos, y progresar hacia metodologías didácticas donde el estudiante forje activamente su conocimiento, estableciendo en la interacción con su ambiente, sus pensamientos previos y la experiencia. De acuerdo con Ausubel (2002):

El aprendizaje significativo es la base de la propuesta, pues instituye que el aprendizaje no se origina aislado, sino en conexión con la organización cognitiva del alumno. De esta manera, el diseño de la guía admite que: La esencia del aprendizaje significativo se basa en que las ideas nuevas establecen vínculos con lo que el alumno ya conoce, de forma no arbitraria y sustancial, dando origen a nuevos significados gracias a esta interacción (p. 58).

A partir de esto, la guía se constituye, enfocándose en la activación de saberes previos, la problematización de estos y su modificación conceptual posterior. Este enfoque es particularmente significativo al enseñar temas genéricos como la interferencia propagación de ondas. Además, el planteamiento acepta que lo que se aprende en el aula no solo depende de los contenidos, sino también de los escenarios en las que estos son presentados. En esta línea: "La psicología de la educación se ocupa de describir la naturaleza del aprendizaje en el aula, los factores que lo afectan, las condiciones en las que ocurre y los resultados que produce, así como su evaluación" (Ausubel, 2002, p. 56).

Esto significa que la construcción de la guía, además de estructurar contenidos, crea situaciones pedagógicas que promueven el intercambio entre el alumno, el profesor y el saber, en concordancia con la tríada didáctica. La experimentación, por otro lado, se convierte en un elemento esencial de la propuesta porque conecta la teoría con la práctica y ayuda a entender fenómenos que son muy abstractos por su naturaleza. En este contexto, la guía se centra en el experimento de Michelson-Morley, pues permite que los conceptos de interferencia, fase y superposición se integren con su expresión experimental.

Este experimento, además de su representación histórica, aprueba que el alumno analice, exponga y especule acerca de las consecuencias obtenidas en el desarrollo de la física moderna. Así,

Se suscita el intelecto de la ciencia como un asunto dinámico en el que se crea, se debate y se cambia el conocimiento con base en la realidad. Además, la guía contiene

habilidades de técnicas activas que admiten al estudiante redimir un papel central en su oportuno aprendizaje. Esto presume anunciar en actividades de indagación, analizar fenómenos, interpretar los resultados obtenidos de experimentos y elaborar explicaciones, lo que contribuye al desarrollo del pensamiento crítico y las competencias científicas (Díaz, 2013, p. 26).

En estos contextos, el docente juega un papel esencial como mediador del aprendizaje, ya que guía el proceso, manifiesta preguntas notables y ayuda la producción de conocimiento. La enseñanza, como lo propone Ausubel (2002), tiene que constituir los contenidos de una forma que el estudiante pueda pensar y concentrar a su estructura cognitiva. Por lo tanto, la formulación didáctica de la guía se presenta como una propuesta que armoniza los elementos conceptuales, experimentales y pedagógicos de una manera sólido, promoviendo así, un aprendizaje que sea significativo, contextualizado y reflexivo. Así, el objetivo no es sin otra cosa concebir contenidos particulares de la física, sino también provocar una perspectiva crítica acerca de la ciencia y los métodos a través de los cuales, se forja el conocimiento científico.

4. Capítulo III. Diseño metodológico guía didáctica

4.1. Diseño metodológico de la guía didáctica

El objetivo de este capítulo es representar el procedimiento para trazar la guía didáctica, encaminada a la cultura de la concepción de superposición e interferencia de ondas electromagnéticas en estudiantes de educación media. Entonces, el experimento de Michelson-Morley se maneja como eje articulador; por ende, la propuesta, se sitúa dentro de un rumbo cualitativo con carácter propositivo, ya que tiene como objetivo establecer un recurso pedagógico fundado en referentes teóricos, didácticos y epistemológicos que se han analizado anteriormente.

Esta perspectiva, viabiliza concebir la enseñanza de la física como un proceso donde transformar el conocimiento no solo depende de impartir contenidos, sino también de la interacción entre el fenómeno físico, el profesor y el estudiante, lo cual es estable con las metodologías constructivistas y con el aprendizaje significativo.

4.2. Enfoque metodológico

La investigación se encuadra en un enfoque cualitativo, ya que busca concebir y transformar las prácticas educativas, a través del diseño de una propuesta didáctica contextualizada. Además, es un estudio propositivo, porque no solo se orienta en el análisis de un problema, sino también expone una solución determinada mediante la creación de una guía didáctica. Por esto, el incorporar componentes conceptuales, históricos y pedagógicos en la elaboración del recurso, comprendiendo que la enseñanza de la física es un asunto dinámico que requiere una composición de teoría, experimentación y contexto. Así, se suscita que los alumnos funden significados de acuerdo con los principios del aprendizaje significativo.

4.3. Diseño de la guía didáctica

La guía didáctica es un recurso que dirige el proceso de enseñanza y aprendizaje a través de una serie de actividades situadas de forma creciente y lógica. Su estructura se basa en tres ejes principales:

- Eje conceptual: progreso de los conceptos de naturaleza ondulatoria de la luz, superposición de ondas e interferencia.
- Eje histórico: incorporación del experimento de Michelson–Morley como contexto de análisis, comprensión y problematización del conocimiento científico.
- Eje didáctico: ejecución de habilidades fundadas en el aprendizaje activo, la experimentación y el aprendizaje significativo.

A partir de estos ejes, la guía se constituye en una serie que accede recorrer desde la exploración de ideas previas, hasta la formalización conceptual, favoreciendo la construcción gradual del conocimiento.

4.4. Estructura de la guía

La guía didáctica se estructura en tres momentos pedagógicos:

- **Momento inicial (exploración):**

Se enfoca en reconocer los conceptos previos de los alumnos acerca de la luz y los fenómenos ondulatorios, a través de preguntas que plantean problemas, circunstancias cotidianas y ejercicios de investigación. Este momento es fundamental, puesto que hace viable la creación de los puntos de partida para el impulso del conocimiento.

- **Momento de desarrollo (construcción):**

Los conceptos de interferencia y superposición se tratan mediante experimentos, simulaciones y el estudio del experimento de Michelson-Morley, fomentando la interpretación de fenómenos y la elaboración de explicaciones basadas en fundamentos.

- **Momento de cierre (síntesis y aplicación):**

Con el propósito de fortalecer lo aprendido, se busca activar la transmisión del conocimiento, a través de actividades de sistematización, resolución de problemas y aplicación de conceptos en nuevos contextos.

Tabla 2. Estructura momentos guía didáctica. Elaboración propia.

4.5. Estrategias didácticas

La propuesta desarrolla algunas habilidades encaminadas a sembrar un aprendizaje que tenga sentido y esté contextualizado, de las cuales prevalecen:

- Aprendizaje dinámico: motiva la colaboración del estudiante en métodos de búsqueda, discusión y análisis, favoreciendo su papel como sujeto activo del aprendizaje.
- Experimentación: une experiencias que aprueban el prestar atención y analizar fenómenos de interferencia, suministrando la comprensión de conceptos abstractos.
- Contextualización: utiliza el experimento de Michelson–Morley como un escenario problema que aprueba percibir la construcción del conocimiento científico.
- Representaciones múltiples: articula lo gráfico, lo matemático y lo conceptual, ayudando la comprensión completa de los fenómenos físicos.

Con lo anterior, estas habilidades facilitan el establecimiento de relaciones entre la teoría y la práctica, lo que ayuda a fundar significados y a desplegar el pensamiento científico.

4.5.1. Rol del docente y del estudiante

En esta propuesta, el docente ocupa el puesto de mediador del aprendizaje, dirigiendo el proceso, trazando preguntas notables y ayudando a organizar el conocimiento. Justamente, su tarea no se limita a la entrega de información, sino a la organización de situaciones que atenúen el aprendizaje significativo y la comprensión. Por otro lado, el estudiante es visto como sujeto activo que se envuelve en la indagación, el análisis y la interpretación de los fenómenos físicos, estableciendo vínculos entre lo que ya sabe y lo nuevo que aprende. Así, el aprendizaje se concreta como un eje de construcción, en lugar de una simple aceptación pasiva de información.

4.5.2. Alcances de la propuesta

La guía didáctica se presenta como un recurso pedagógico para la enseñanza de la física en el nivel de educación media, y facilita el conocer los contenidos de la física moderna desde un punto de vista combinado. Es decir, su diseño tiene como objetivo beneficiar con el fortalecimiento de las prácticas pedagógicas que enlazan la reflexión histórica y la experimentación con el saber conceptual. De igual manera, la propuesta origina el adelanto de un aprendizaje significativo, donde los estudiantes no solamente conciben los fenómenos físicos, sino que además obtengan capacidades de análisis, interpretación y pensamiento crítico, fundamentales para la educación científica.

4.6. Guías didácticas

Las guías didácticas pensadas en el contexto de esta investigación, se fundan como una sucesión pedagógica creciente, con el propósito de promover la creación de conocimiento acerca de los fenómenos relacionados con la interferencia y superposición de ondas electromagnéticas. Esta organización se basa en los principios del aprendizaje significativo, según los cuales el aprendizaje no es un proceso de simple incorporación de contenidos, sino una serie de pasos sucesivos en la que las nuevas ideas se enlazan con los conceptos anteriores del alumno (Ausubel, 2002).

En este contexto, las tres guías no operan como elementos aislados, sino como ejes relacionados de un proceso formativo único, en el que cada guía desempeña un rol específico en la formación del conocimiento. La secuencia sugerida, aprueba pasar de la exploración inicial de conceptos básicos a la comprensión de un fenómeno científico complejo; por ejemplo, el experimento de Michelson-Morley y sus consecuencias en la física contemporánea.

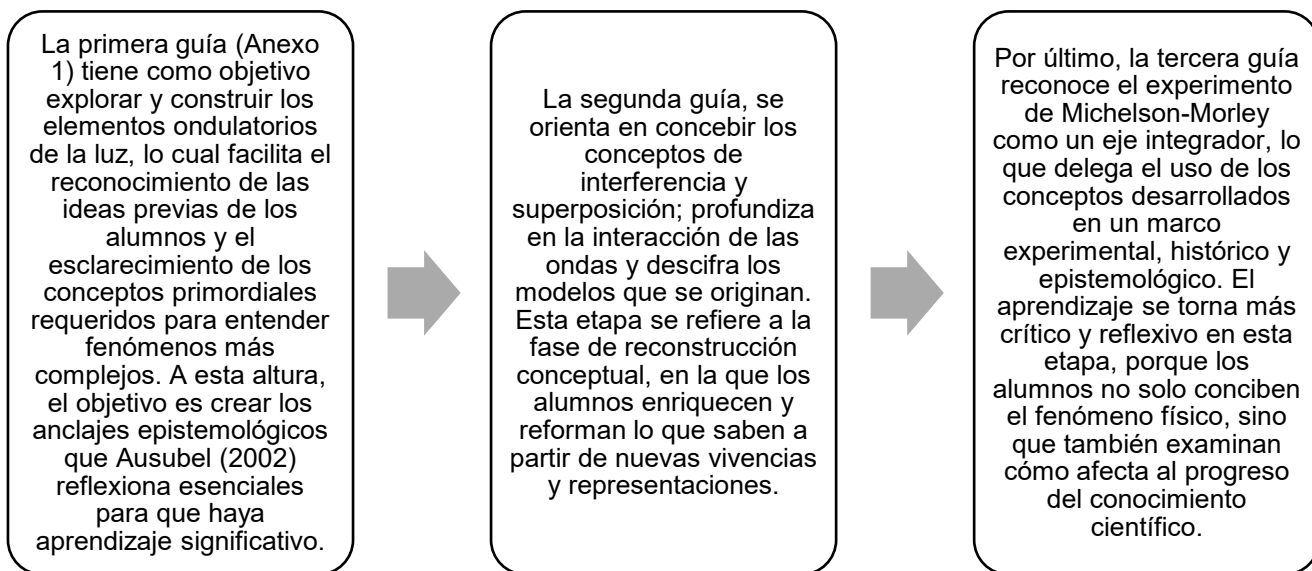


Figura 3. Estructura guías didácticas. Elaboración propia.

Así, la organización progresiva de las guías sigue un razonamiento pedagógico que coordina exploración, elaboración y aplicación, ayudando a pasar de niveles básicos de entendimiento a otros más complejos y abstractos. Además, el experimento de Michelson-Morley se fortalece como un mecanismo articulador que viabiliza la composición de las distintas unidades: conceptuales, experimentales e históricas del saber, lo que fortalece el vínculo entre la teoría y práctica. Por lo tanto, este conjunto de actividades didácticas no solamente posibilita concebir los fenómenos de las ondas, sino también despliega capacidades para analizar, interpretar y argumentar, en conformidad con un método pedagógico de la física que se orienta en la creación significativa del conocimiento.

5. Implementación metodológica y análisis de resultados

Es importante indicar, en un primer momento que la presente propuesta no corresponde a una implementación reciente, sino que se basa en el análisis de una experiencia pedagógica preliminarmente desarrollada. En este marco, se acogió un enfoque cualitativo de tipo descriptivo, con el objetivo de percibir la manera en que los estudiantes fundan aprendizajes

sobre fenómenos ópticos a partir de su alcance en actividades experimentales. Por ende, la intervención se constituyó en tres unidades secuenciales, cada una con objetivos determinados, tareas organizadas y razonamientos de evaluación puntuales, lo que benefició la conexión y graduación del proceso pedagógico.

Desde el enfoque pedagógico, se asumió una representación constructivista en la que el estudiante rescata un rol activo en la construcción de su propio conocimiento. En esta línea, se retoman los planteamientos de Ausubel (2002), quien destaca la importancia del aprendizaje significativo a partir de la correspondencia entre los conocimientos previos y la nueva información. Asimismo, se incorporó la enseñanza de las ciencias como una actividad investigativa (Gil-Pérez y Vilches, 2001), originando que los estudiantes enuncien hipótesis, observen fenómenos y elaboren explicaciones propias.

Finalmente, el procedimiento metodológico se sustentó en diversas metodologías de recolección y análisis de información, tales como: la observación directa para identificar las destrezas avanzadas y los horizontes de colaboración, los cuestionarios abiertos utilizados tanto en el diagnóstico como en la evaluación final, y el análisis de producciones de los estudiantes, tanto escritas como orales.

Fase 1: Exploración de saberes previos

En la primera fase, se fundamentó en evaluar preconceptos (Anexo 2), se revelaron nociones previas de los alumnos sobre fenómenos ópticos. De ello, los resultados manifestaron un escaso dominio conceptual, con respuestas que se caracterizaban por ser deambulas, por desconocimiento o por asociaciones erróneas. Este hallazgo confirma lo importante que es tener en cuenta el punto inicial del alumno para el conocimiento.

Fase 2: Construcción del conocimiento mediante la experimentación

Después, en la etapa de experimentación, se fomentó el entendimiento de fenómenos como la interferencia, la refracción y la reflexión por medio de actividades prácticas con materiales fáciles de conseguir. A lo largo de este proceso, se observó que los alumnos desarrollaron sus explicaciones, pasando de ser superficiales a tener interpretaciones más detalladas que

incluían lenguaje científico y relaciones causales. Además, se notó un incremento en la colaboración, las preguntas formuladas y la participación.

Durante la fase dos de la intervención, las sesiones se orientaron en crear actividades tanto teóricas como prácticas diseñadas específicamente para desafiar y reestructurar las ideas alternativas identificadas en el diagnóstico inicial. A través de la manipulación de elementos ópticos básicos y simulaciones interactivas, se examinó cualitativamente el avance del aprendizaje en relación con los temas conflictivos señalados por la literatura especializada (Soto-Vergel et al., 2020; Vera Tapias, 2012).

En primer lugar, en contraste con la perspectiva común de ver la interferencia como un choque entre partículas que desvían la trayectoria de la luz (Vera Tapias, 2012), las actividades prácticas que involucraban la superposición de los haces permitieron a los estudiantes observar que las ondas pueden coexistir en el mismo espacio sin destruirse ni modificar su dirección de propagación posterior. El registro de las observaciones verbales mostró un cambio conceptual notable: los estudiantes dejaron de utilizar un lenguaje mecanicista y comenzaron a describir el fenómeno en términos de superposición lineal de las amplitudes del campo, reconociendo que la onda mantiene su identidad e independencia después de la interacción.

En segundo lugar, se abordó la incorrecta idea de la "eliminación de la energía" durante los mínimos de interferencia (Soto-Vergel et al., 2020). Al analizar de manera guiada la formación de franjas oscuras y brillantes en la pantalla, los estudiantes inicialmente tendían a pensar que la luz desaparecía de manera permanente en las zonas oscuras. Gracias a preguntas orientadoras incluidas en la guía didáctica, se facilitó un proceso de modelado donde los estudiantes llegaron a deducir que la ausencia de luz en un punto corresponde a una oposición de fase (crestas y valles) y no a una pérdida de energía. El análisis de los trabajos escritos evidenció que el 78% de los participantes comprendió la interferencia como un proceso de redistribución espacial de la intensidad de la luz, logrando conectar lo observado con el principio de conservación de la energía.

Finalmente, la práctica experimental actuó como el vínculo conceptual esencial para superar el "reduccionismo algebraico" mencionado por Soto-Vergel et al. (2020), donde el estudiante utiliza fórmulas sin entender el contexto físico. Al relacionar mecánicamente el movimiento

de los elementos del interferómetro con la variación en la geometría de las franjas visibles, los estudiantes lograron integrar los tres niveles de representación de la tríada didáctica. Los parámetros matemáticos abstractos como la longitud de onda (λ), el número de onda (k) y la diferencia de camino óptico (Δr) dejaron de ser simples variables algorítmicas y adquirieron un sentido fenomenológico claro, estableciendo las bases conceptuales necesarias para abordar con éxito el experimento de Michelson-Morley en la etapa de consolidación.

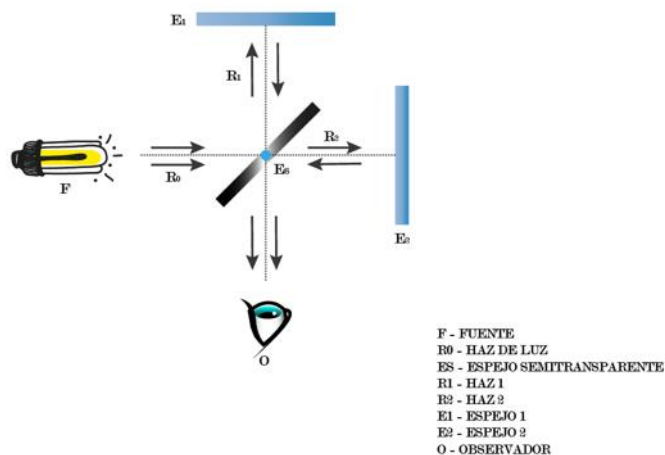
Fase 3: Aplicación y consolidación del aprendizaje

Esta investigación utiliza un diseño cuasi-experimental de enfoque cuantitativo, con un alcance correlacional-explicativo. La investigación se organiza en función de un modelo pre-test y post-test para un único grupo de control compuesto por 30 estudiantes ($N=30$). Con el objetivo de reducir el sesgo que proviene de las observaciones o apreciaciones subjetivas del profesor, se implementó un proceso de recolección de datos a través de dos instrumentos validados por consistencia interna: una matriz del Índice de Rigor Esquemático (IRE).

La Ganancia Normada de Hake (g) es el método matemático que se utiliza para calcular la evaluación del impacto pedagógico y la adquisición del cambio conceptual. Este método mide la proporción entre el aumento del conocimiento máximo posible alcanzable por la muestra. La prueba paramétrica para muestras emparejadas ($p < 0.05$) se usa para validar la significancia estadística del desplazamiento de las medias vectoriales entre la etapa diagnóstica preliminar y la última fase. Este marco matemático proporciona al estudio una validez psicométrica interna, convirtiendo las preconcepciones gráficas y textuales de los estudiantes en variables continuas estandarizadas, que son adecuadas para la contrastación empírica y la repetición metodológica.

Guía Práctica: Recombinación de Ondas - Interferómetro de Michelson-Morley

Recombinar dos haces de luz coherente con la finalidad de producir un patrón de franjas estables (interferencia constructiva o destructiva) empleando materiales accesibles de física óptica.



Interferómetro de Michelson – Morley. Creación propia.

Fase 1: Preparación

Paso 1.1 (Fijación de la Base): Contar con una base plana rígida para prevenir que las vibraciones mecánicas del entorno arruinen el patrón de interferencia.

Paso 1.2 (Montaje del Divisor de Haz): Posicionar el espejo semitransparente exactamente en el centro de la base, rotado a un ángulo preciso de 45° respecto al eje de incidencia del láser.

Paso 1.3 (Ubicación de los Espejos): Colocar el Espejo E_1 a una distancia L_1 del semiespejo, formando un ángulo de 90° con el láser. Colocar el Espejo E_2 en el eje opuesto a una distancia equivalente L_2

Fase 2: Calibración

Paso 2.1 (Inyección del Haz): Encender el láser (longitud de onda λ). El haz debe dirigirse al centro del espejo semitransparente.

Paso 2.2 (Rastreo de Retorno): Verificar que el haz se dividió en dos trayectorias perpendiculares: una transmitida hacia E_2 y otra reflejada hacia E_1 . Ajustar los espejos hasta lograr que los haces regresen de forma idéntica al centro del semiespejo.

Paso 2.3 (Proyección): Colocar la hoja de papel blanco como pantalla de manera perpendicular al haz de salida recombinado. Inicialmente lo que se observara son dos puntos de luz rojos separados, esto solo hasta calibrar el interferómetro.

Fase 3: Generación del Patrón de Interferencia

Paso 3.1 (Superposición Absoluta): Mover micrométricamente los tornillos de soporte Espejo 1 hasta que los dos puntos de luz en la pantalla se superpongan en uno solo.

Paso 3.2 (Registro en la pantalla): Apagar las luces del aula. En la pantalla se evidenciará el patrón geométrico: una sucesión alternada de franjas brillantes (interferencia constructiva) y franjas oscuras (interferencia destructiva).

Los estudiantes, al aplicar los conceptos en un contexto práctico, lograron fortalecer sus conocimientos durante la tercera fase, que se enfocó en crear un interferómetro escolar basado en el experimento de Michelson-Morley. Esta experiencia permitió que se comprendiera la interferencia como el resultado de la superposición de ondas y propició un vínculo con cuestiones históricas de la física, como la búsqueda del éter.

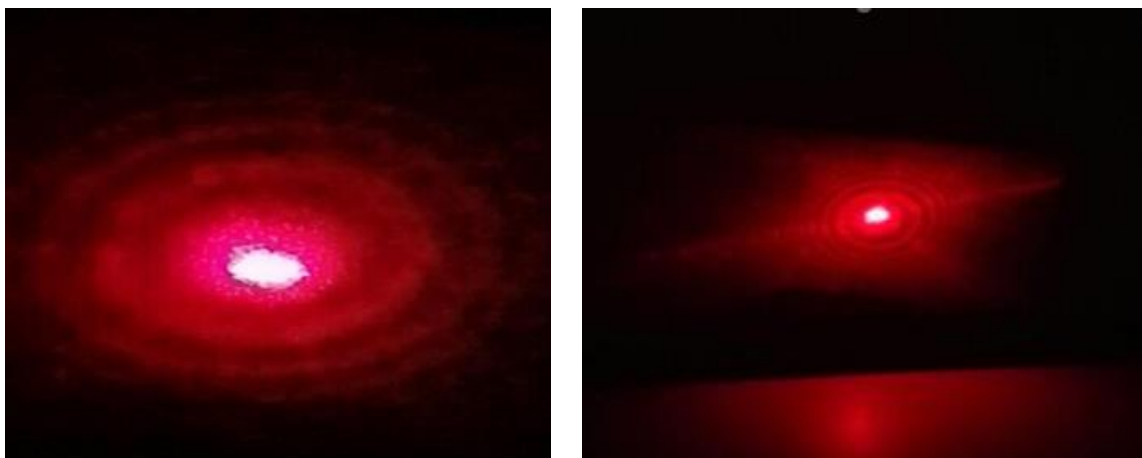


Imagen 3. Evidencia experimental del comportamiento ondulatorio de la luz mediante patrones de interferencia. Elaboración propia

En la imagen inicial, se puede ver un punto central brillante que está rodeado por bandas o franjas de luz menos intensas, las cuales se desarrollan mayormente en una dirección horizontal. Este modelo indica que la luz ha atravesado un sistema o una abertura que genera interferencia, lo cual da lugar a zonas con ondas reforzadas (máximos de intensidad) y otras

con ondas atenuadas. La simetría parcial muestra una repartición ordenada de la energía luminosa.

La segunda imagen muestra un patrón más concéntrico. Se puede identificar un punto central intenso, que está rodeado por anillos circulares con menor intensidad. La interferencia de ondas en configuraciones más simétricas son fenómenos que poseen este tipo de distribución. Los anillos revelan espacios de interferencia constructiva y destructiva, lo que indica el comportamiento

6. Resultados del proceso de experimentación

Las imágenes mostradas a continuación son el proceso de experimental realizado por los estudiantes, quienes utilizaron diferentes elementos requeridos para la construcción del interferómetro. En ellas se evidencia la disposición de los elementos, así como la colocación inicial del sistema, lo que es fundamental para que los resultados sean favorables. Además, el manejo de cada elemento favoreció el en desarrollo de las destrezas experimentales, como la precisión en la ubicación de cada elemento, pensando también en el control de variables y la observación de los patrones de interferencia.



Imagen 5. Evidencia del montaje del interferómetro. Elaboración propia

En cuanto a los resultados, se observó un progreso importante, con respecto a la actitud de los estudiantes y en la actitud hacia el aprendizaje de la física y en la comprensión conceptual. En primer lugar, los estudiantes exteriorizaron un interés más grande, una actitud más activa frente al conocimiento y una mayor habilidad para participar en actividades experimentales.

De esta forma, aprueba que la experimentación no simplemente contribuye a entender conceptos, sino también fortalece el compromiso y la motivación. Entonces, al unir modelos y orientaciones de otras ramas, la educación puede engrandecer de manera significativa, lo cual atenúa una comprensión del conocimiento más amplio y articulado. En esta línea, se reconoce la importancia de las propuestas multidisciplinarias, que viabilizan el estudio de los fenómenos desde diversas representaciones.

Asimismo, se señaló que los alumnos mostraban vacíos conceptuales en su sentido inicial de elementos fundamentales de óptica, lo que ratifica la necesidad de emprender desde sus conocimientos previos como punto de partida del proceso educativo. En esta línea, las condiciones educativas llevadas a cabo beneficiaron que el conocimiento se desarrollara de manera gradual, proporcionando que los estudiantes tuvieran explicaciones intuitivas hacia entendimientos más fundados y cimentados. Asimismo, la introducción de la experimentación como mecanismo fundamental del proceso educativo, consintió que se adapten fenómenos complejos, lo que hizo más fácil su alcance mediante la observación directa y el contacto con materiales tangibles. En esta misma dirección, el camino del experimento de Michelson-Morley fue fundamental para enunciar las dimensiones prácticas, históricas y conceptuales de la física, promoviendo una representación más completa del saber científico.

De este modo, estos descubrimientos, manifiestan que el método adoptado, suscita aprendizajes profundos y significativos, con una realidad en la capacidad de ser aplicados en distintas atmósferas educativas.

Por último, los resultados obtenidos con las respuestas de las guías muestran que la implementación de estrategias pedagógicas fundadas en la experimentación, aportan favorablemente el aprendizaje con significado en los estudiantes. En efecto, el hecho de pasar de hipótesis fragmentarias al principio a definiciones más establecidas, es indicativo de un proceso en el que la experiencia media en la construcción del conocimiento. En esta situación, el papel del maestro como mediador fue fundamental porque guía el proceso sin atribuir respuestas, provocando así, la reflexión y la indagación. Además, constituir el proceso en etapas de diagnóstico, intervención y evaluación, se establece como una vía adecuada para la mejora constante de la práctica pedagógica.

7. Conclusiones

Se estableció una revisión exhaustiva desde una perspectiva histórica y epistemológica acerca del experimento de Michelson-Morley, reconociendo las tensiones conceptuales presentes en la física de finales del siglo XIX. El análisis de la teoría del éter luminífero mostró que el avance científico no es un proceso lineal, sino que ocurre a través de la crisis y cambios de paradigma. Este recorrido sirvió como base didáctica crucial para los estudiantes de educación media entendieran la imperiosa necesidad de reformular las ideas absolutas sobre espacio y tiempo.

Se definieron con precisión las bases teóricas relacionadas con la naturaleza ondulatoria de la luz, el principio de superposición y los fenómenos de interferencia electromagnética. Mediante una adecuada enseñanza de las consecuencias físicas del interferómetro, se tradujeron modelos matemáticos complejos y ecuaciones vectoriales en conceptos que se pueden observar como lo son las franjas claras y oscuras. Esto proporcionó la base conceptual y la fundamentación cuantitativa esenciales para respaldar las actividades prácticas en el aula de clase.

Se desarrolló y validó de manera formal una propuesta secuencial que incluyen tres guías enfocadas en el aprendizaje significativo de Ausubel. La secuencia pedagógica demostró ser eficaz al orientar a los estudiantes de manera gradual, comenzando desde la exploración de ideas previas erróneas hasta culminar con la construcción de un interferómetro en el aula. Los resultados confirman que conectar la experimentación directa con la discusión histórica fomenta un cambio conceptual duradero y estimula al pensamiento científico crítico en el ámbito de la educación media.

Los resultados empíricos de esta investigación muestran claramente que el paso de un método pedagógico constructivista, fundamentado en la construcción y ensamblaje de un interferómetro óptico casero, a una enseñanza descriptiva tradicional, favorece una transformación conceptual intensa en los sujetos estudiados. La utilización de la Rúbrica Analítica de Competencia Conceptual en Óptica (RACCO) reveló que se superaron con éxito concepciones previas arraigadas, como la confusión teórica entre los fenómenos de difracción e interferencia o la imposibilidad de dividir de manera controlada la amplitud de

un rayo luminoso. Los alumnos asimilaron la naturaleza ondulatoria de la radiación electromagnética y la conservación de energía en las interfaces divisorias cuando se enfrentaron con la calibración optomecánica real.

Se encontró una correlación positiva entre la capacidad de representación geométrica del estudiante y su rapidez en el aprendizaje cuando se comparó la evaluación diagnóstica con el Índice de Rigor Esquemático (IRE). Los estudiantes que, en la fase diagnóstica inicial, consiguieron anotar topologías vectoriales o cinemáticas coherentes (con un IRE entre el 60% y el 100%) lograron niveles de abstracción máximos en el post-test de manera rápida. Esto confirma que la modelación abstracta en términos geométricos funciona como un andamiaje predictivo esencial, posibilitando la comprensión de ideas avanzadas de física contemporánea, tal como la hipótesis nula del Éter en el experimento clásico de Michelson-Morley.

"En última instancia, se concluye que la creación y ejecución de laboratorios de física a bajo costo no disminuye ni el rigor académico ni la validez de los datos adquiridos en las aulas de educación media. La utilización coordinada de objetos cotidianos (vidrios semitransparentes, espejos y punteros láser comerciales) que han sido calibrados bajo severas condiciones geométricas de aislamiento vibratorio ($\Delta L = N \cdot \lambda / 2$) posibilita la reproducción con gran fidelidad de fenómenos macroscópicos de interferencia. "Esta técnica metodológica democratiza el acceso a la ciencia experimental, convirtiendo las aulas tradicionales en ambientes donde se realiza investigación científica activa y que puede ser replicada."

Referencias

- Anamat. (2007). *Bases de la teoría de la relatividad*. (p. 17)
- Ardila, X., & Arroyave, Y. (2012). El laboratorio y las TIC en el aprendizaje significativo de la física. (p. 32)
- Ausubel, D. P. (1968). *Educational psychology: A cognitive view*. Holt, Rinehart and Winston. (p. 37)
- Ausubel, D. P. (2002). *Adquisición y retención del conocimiento: Una perspectiva cognitiva*. Paidós. (p. 7)
- Ausubel, D. P., Novak, J. D., & Hanesian, H. (1983). *Psicología educativa: Un punto de vista cognoscitivo* (2.^a ed.). Trillas. (p. 38)
- Cassini, A., & Levinas, M. L. (2005). Simulação em realidade virtual do experimento de Michelson–Morley como recurso didático para o ensino de física moderna. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 27(4), 575–580. (p. 14)
- Castiblanco, O., & Nardi, R. (2013). La historia y la epistemología de la ciencia en la formación de profesores de física. (p. 33)
- Cornejo, J. (2018). *Naturaleza ondulatoria de la luz y aplicaciones experimentales*. (p. 25)
- Díaz, F. (2013). *Estrategias didácticas para el aprendizaje significativo*. (p. 42)
- Escohotado, A. (1987). *Filosofía de la ciencia*. (p. 23)
- Fleisch, D. (2008). *A student's guide to Maxwell's equations*. Cambridge University Press. (p. 16)
- Freeman, S., Eddy, S. L., McDonough, M., Smith, M. K., Okoroanyanwu, N., Jordt, H., & Wenderoth, M. P. (2014). Active learning increases student performance in science, engineering, and mathematics. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(23), 8410–8415. (p. 8)
- Freyre, A. (2017). *La enseñanza de los fenómenos ondulatorios y la interferencia lumínica*. (p. 26)
- Halliday, D., Resnick, R., & Walker, J. (2013). *Fundamentals of physics* (10.^a ed.). Wiley. (p. 30)
- Holton, G. (1969). Einstein, Michelson, and the "Crucial" Experiment. *Isis*, 60(2), 133–197. (p. 24)

- López, A. (2007). *Principios de superposición e interferencia de ondas electromagnéticas*. (p. 25)
- López, A. (2009). *El experimento de Michelson y Morley: una propuesta didáctica para la enseñanza de la relatividad especial* (Trabajo de grado). Universidad Pedagógica Nacional de Colombia. (p. 13)
- López, A. (2011). Articulación de enfoques histórico-epistemológicos en la física. (p. 9)
- Madrid, R. (s.f.). *Demostración clásica de ondas estacionarias: El tubo de Kundt*. (p. 21)
- Masip, M. (2015). *Formulación de la electrodinámica y leyes de Maxwell*. (p. 17)
- Maxwell, J. C. (1865). A dynamical theory of the electromagnetic field. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 155, 459–512. (p. 17)
- Méndez, R., et al. (2004). Las ciencias y su enseñanza como actividad de la cultura. (p. 7)
- Ministerio de Educación Nacional. (2006). *Estándares básicos de competencias en ciencias naturales y ciencias sociales*. MEN. (p. 9)
- Newton, I. (1687). *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*. (p. 23)
- Novak, J. D. (2010). *Learning, creating, and using knowledge: Concept maps as facilitative tools in schools and corporations* (2.^a ed.). Routledge. (p. 7)
- Peña, M. (2024). *Secuencias didácticas y aprendizaje activo en la física escolar*. (p. 36)
- Serway, R. A., & Jewett, J. W. (2014). *Física para ciencias e ingeniería* (9.^a ed.). Cengage Learning. (p. 29)
- Shankland, R. S. (1963). *Conversations with Albert Einstein on the Michelson-Morley Experiment*. (Nota: En el texto cita 1693 en un fragmento y luego aclara la entrevista histórica de 1963). (p. 24)
- Soto-Vergel, A. V., López-Bustamante, J., Medina-Delgado, B., Gallardo-Pérez, J., & Guevara-Ibarra, D. (2020). Dificultades conceptuales en la enseñanza de la interferencia y el electromagnetismo. *Revista de Investigación Educativa*. (pp. 34-35)
- Spodniaková, M., & Plesch, M. (2025). Simulaciones interactivas basadas en el experimento de Michelson-Morley. *Physics Education*. (p. 10)
- Suárez, C. (2008). La didáctica de la física y la matematización de los fenómenos en educación media. *Revista de Educación en Física*, 12(2), 45–52. (pp. 7-8)
- Torres, J. (2016). *Estrategia didáctica basada en el modelo de aula invertida (flipped classroom) para la enseñanza de la relatividad especial en estudiantes de educación media*

(Trabajo de grado). Universidad de Sucre. (p. 13)

Vega, J. (2018). El éter como medio de transmisión de fuerzas a distancia. *Estudios de Historia de la Física*, 34, 423–447. (p. 23)

Vera Tapias, G. (2012). Concepciones alternativas sobre la naturaleza macroscópica de las ondas. (p. 34)

Young, T. (2002). *The Bakerian Lecture: On the theory of light and colours* (Obra original publicada en 1802). (p. 29)

Anexos

Anexo 1. Guías didácticas



GUÍA DIDÁCTICA 1



FUNDAMENTOS ONDULATORIOS DE LA LUZ

ENFOQUE PEDAGÓGICO

Se fundamenta en el aprendizaje significativo, partiendo de las ideas previas de los estudiantes sobre la luz y las ondas para construir los conceptos básicos. Se enfoca en la comprensión de la naturaleza ondulatoria mediante la relación con fenómenos cotidianos y representaciones simples.

OBJETIVO DE ENSEÑANZA Y APRENDIZAJE

Orientar y lograr la comprensión de la naturaleza ondulatoria de la luz a través de distinguir las propiedades de las ondas y la diferenciación entre el movimiento de la onda y el del medio.



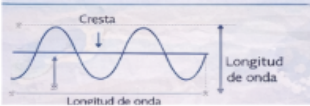
PROPÓSITO DE APRENDIZAJE

Reconocer la naturaleza ondulatoria de la luz a partir de la exploración de ideas previas y la comprensión de los conceptos básicos de onda.



OBJETIVOS

- Identificar qué es una onda y sus características principales.
- Diferenciar entre el movimiento de la onda y el del medio.
- Reconocer la luz como una onda electromagnética.



CONCEPTOS CLAVE

- Onda: perturbación que se propaga transportando energía sin transportar materia.
- Amplitud: altura de la onda; relacionada con la intensidad.
- Frecuencia: número de oscilaciones por unidad de tiempo.
- Longitud de onda (λ): distancia entre dos puntos equivalentes de la onda.
- Onda electromagnética: onda que no necesita un medio material para propagarse (como la luz).



MOMENTO 1. EXPLORACIÓN

Actividad: Dibuja cómo crees que se propaga la luz.
Pregunta: ¿La luz necesita algo para moverse?



MOMENTO 2. CONSTRUCCIÓN

Actividad: Observa ejemplos (agua, sonido) y compara con la luz.
Tarea: Identifica: amplitud, frecuencia y longitud de onda.



MOMENTO 3. APLICACIÓN

Actividad: Explica con tus palabras: ¿Por qué la luz se considera una onda?

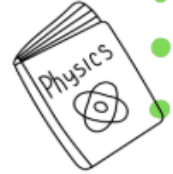
EVALUACIÓN

¿Qué aprendiste?
¿Qué aspecto te resultó más difícil?



GUÍA DIDÁCTICA 2

SUPERPOSICIÓN E INTERFERENCIA DE ONDAS



ENFOQUE PEDAGÓGICO

Se fundamenta en el aprendizaje significativo, partiendo de las ideas previas de los estudiantes sobre la luz y las ondas para construir los conceptos básicos. Se enfoca en la comprensión de la naturaleza ondulatoria mediante la relación con fenómenos cotidianos y representaciones simples.

OBJETIVO DE ENSEÑANZA Y APRENDIZAJE

Orientar y lograr la comprensión del principio de superposición de ondas y del fenómeno de interferencia, diferenciando sus tipos e interpretando los patrones resultantes.

PROPÓSITO DE APRENDIZAJE



Comprender el principio de superposición y el fenómeno de interferencia, interpretando cómo interactúan las ondas y cómo se generan patrones de intensidad.

OBJETIVOS



- Comprender el principio de superposición de ondas.
- Diferenciar entre interferencia constructiva y destructiva.
- Interpretar patrones de interferencia a partir de la interacción de ondas.



CONCEPTOS CLAVE

- Superposición: suma de dos o más ondas en un mismo punto.
- Interferencia: resultado de la superposición de ondas.
- Interferencia constructiva: aumento de la amplitud (ondas en fase).
- Interferencia destructiva: disminución o cancelación (ondas en oposición de fase).
- Fase: estado de oscilación de una onda en un punto.

MOMENTO 1. EXPLORACIÓN



Actividad:
Observa dos ondas (dibujo o simulación).
Pregunta:
¿Qué pasa cuando se encuentran

MOMENTO 2. CONSTRUCCIÓN



Actividad:
Superpone dos ondas (gráfico o simulador).
Tarea:
Identifica cuándo se suman y cuándo se cancelan.

MOMENTO 3. APLICACIÓN



Actividad:
Analiza una imagen de interferencia.

¿Por qué hay zonas claras y oscuras?

EVALUACIÓN

¿Qué aprendiste?

¿Qué aspecto te resultó más difícil?



GUÍA DIDÁCTICA 3

EXPERIMENTO DE MICHELSON-MORLEY



ENFOQUE PEDAGÓGICO

Analizar el experimento de Michelson-Morley como aplicación de la interferencia, comprendiendo sus resultados y su importancia en la física.

OBJETIVO DE ENSEÑANZA Y APRENDIZAJE

Orientar y lograr el análisis del experimento de Michelson-Morley para comprender sus resultados y su importancia en la explicación de la propagación de la luz.

PROPÓSITO DE APRENDIZAJE



Reconocer la naturaleza ondulatoria de la luz a partir de la exploración de ideas previas y la comprensión de los conceptos básicos de onda.

OBJETIVOS



- Describir el funcionamiento del interferómetro de Michelson.
- Analizar los resultados del experimento de Michelson-Morley.
- Relacionar la interferencia de la luz con las implicaciones del experimento en la física.

MOMENTO 1. EXPLORACIÓN



Debate:

¿La luz necesita un medio para viajar?

MOMENTO 2. EXPLORACIÓN

Actividad:

Analiza el esquema del experimento.

Tarea:

Explica qué ocurre con los dos haces de luz.



CONCEPTOS CLAVE

- Interferómetro: instrumento que divide y recombina luz para producir interferencia.
- Camino óptico: distancia recorrida por la luz en un medio.
- Desfase: diferencia de fase entre dos ondas.
- Patrón de interferencia: franjas claras y oscuras producidas por la interferencia.
- Resultado nulo: ausencia de variación en la velocidad de la luz; no se detecta el éter.

MOMENTO 3. EXPLORACIÓN

Actividad:

Reflexiona:

¿Por qué fue importante que no se detectara el éter?



EVALUACIÓN

¿Qué aprendiste?

¿Qué aspecto te resultó más difícil?

Anexo 2. Diseño de unidades de aprendizaje en óptica e interferencia

Unidad de aprendizaje No.1

Unidad Diagnóstica

Objetivos:

- Indagar sobre los preconceptos que tienen los estudiantes sobre temas de óptica.
- Reconocer los preconceptos que tienen los estudiantes sobre las propiedades de la luz.
- Explorar acerca de los conceptos previos que tienen los estudiantes acerca de lo que es la interferencia.

Actividad:

Se realizará la unidad diagnóstica para poder evidenciar los conocimientos que los estudiantes tienen acerca de una temática en específico para de esta manera al final de las demás unidades realizar la unidad final, al adquirir los nuevos datos se podrá hacer una comparación de la primera intervención y la final, siguiendo esta secuencia se concluirá si verdaderamente fue o no significativo el conocimiento adquirido por medio del proceso llevado a cabo.

A continuación, se presentará la unidad que se llevará a cabo como unidad diagnóstica.



INSTITUCIÓN EDUCATIVA DISTRITAL
COLEGIO EL PORVENIR
UNIDAD DIAGNÓSTICA

Nombre: _____

Grado: _____

1. ¿Qué es difracción?
2. ¿Qué es refracción?
3. ¿Qué es para usted la aberración?
4. ¿Cómo considera que es la velocidad de la luz?
5. ¿Cuál instrumento considera que es mejor para la observación de un haz de luz?
6. ¿Cree usted que un haz de luz puede ser dividido?
7. ¿Qué es un interferómetro?
8. ¿Conoce usted algo acerca del interferómetro de Michelson y Morley? De ser así responda las siguientes preguntas, en caso contrario omítalas.
9. ¿Cuál era la finalidad del experimento de Michelson-Morley?

10. ¿A qué resultados crees que llegaron Michelson y Morley con su experimento?

Unidad de aprendizaje No.2

Fenómenos Ópticos

Objetivos:

- Indagar sobre los preconceptos que tienen los estudiantes sobre conceptos de óptica y también acerca del interferómetro.
- Definir los conceptos refracción, reflexión e interferencia para un mejor entendimiento de la siguiente unidad.
- Comparar situaciones de la vida cotidiana en las que se presentan casos de los temas estudiados para un mejor entendimiento.

Contenidos:

Los contenidos a tener en cuenta para la realización de la presente unidad son:

1. Fenómenos ópticos de refracción y reflexión.
2. Casos de interferencias.
3. Tipos de interferencia.
4. Reconocimiento de las propiedades de la luz.

Logros esperados por el estudiante:

Los desempeños que se espera durante la realización de la actividad por parte del estudiante son:

1. Define los conceptos trabajados en clase por medio de la práctica.
2. Reconoce las condiciones que se deben tener en cuenta para poder lograr la observación de los fenómenos mencionados.

3. Aplica los planteamientos de los conceptos trabajados en clase y explicar diversas situaciones o sucesos que ocurren en su diario vivir.

4. Comprende cuales son los mejores elementos y sus usos para una mejor implementación.

Actividades:

Se realizarán una serie de actividades con diferentes tipos de espejos en los que tendremos un espejo o vidrio semitransparente que ellos tendrán que usar, un láser, una lámpara y una pantalla, la primera parte de la actividad se espera que los estudiantes caractericen los elementos con los que cuentan y que den razón de los siguientes conceptos: refracción, reflexión, interferencia.

Se realizará luego una explicación por parte de la docente en donde explicará lo que sucede al usar cada uno de los materiales con los que se cuenta y su relación con la actividad que se llevará a cabo al término de la presente.

Unidad de aprendizaje No.3

Construcción de un interferómetro y acercamiento al prototipo construido del interferómetro de Michelson – Morley.

Objetivos:

1. Presentar los elementos a usar como herramientas para la construcción de un interferómetro.
2. Determinar los mejores y más óptimos materiales para la construcción del interferómetro.
3. Explicar el principio del interferómetro propuesto por Albert Michelson y Edward Morley, como referente teórico fundamental.
4. Construir el interferómetro de ellos crean que es la mejor opción para visualizar un patrón de interferencia.

Contenidos:

Los contenidos que se estudiarán en esta actividad serán:

1. Diferencia de fase
2. Fenómeno de interferencia
3. Tipos de interferencia
4. Construcción del interferómetro
5. Interacción con el prototipo de interferómetro de Michelson - Morley

Logros esperados por el estudiante:

Los desempeños que se esperan durante la realización de la actividad por parte del estudiante son:

1. Describe lo que sucede al interior de la construcción realizada.

2. Reconoce las propiedades de las interferencias.
3. Evidencia las diferencias entre su construcción y el prototipo usado para la observación del patrón de interferencia.

Actividades:

Se tendrán en cuenta los materiales usados desde el primer encuentro para la construcción de un instrumento que ellos consideren pertinente y viable para la observación de n patrón de interferencia.

La docente mostrará y dará a conocer la historia y todo lo que se encuentra tras la construcción del interferómetro de Michelson – Morley, explicando el uso de cada uno de los elementos usados hasta llegar a la observación del patrón de interferencia y cada uno de os conceptos que fueron surgiendo a medida de cada una de las intervenciones.

Anexo 2. Evidencias del proceso de aprendizaje



INSTITUCIÓN EDUCATIVA DISTRITAL
COLEGIO EL PORVENIR
UNIDAD DIAGNÓSTICA

-
1. ¿Qué es difracción? *No tengo conocimiento*
 2. ¿Qué es refracción? *No tengo conocimiento*
 3. ¿Qué es para usted la aberración?
 4. ¿Cómo considera que es la velocidad de la luz? *Energía por ondas*
 5. ¿Cuál instrumento considera que es mejor para la observación de un haz de luz? *No tengo conocimiento*

 6. ¿Cree usted que un haz de luz puede ser dividido? *NO*
 7. ¿Qué es un interferómetro? *El que calcula la energía*
 8. ¿Conoce usted algo acerca del interferómetro de Michelson y Morley?
NO
De ser así responda las siguientes preguntas, en caso contrario omitalas.

 9. ¿Cuál era la finalidad del experimento de Michelson-Morley? *No sé*
 10. ¿A qué resultados crees que llegaron Michelson y Morley con su experimento? *NO sé*



INSTITUCIÓN EDUCATIVA DISTRITAL
COLEGIO EL PORVENIR
UNIDAD DIAGNÓSTICA

-
1. ¿Qué es difracción? *no se*
 2. ¿Qué es refracción? *no se*
 3. ¿Qué es para usted la aberración? *no se*
 4. ¿Cómo considera que es la velocidad de la luz? *no se - muy rapido*
 5. ¿Cuál instrumento considera que es mejor para la observación de un haz de luz? *no se - el ojo humano*

 6. ¿Cree usted que un haz de luz puede ser dividido? *no se - no*
 7. ¿Qué es un interferómetro? *no se*
 8. ¿Conoce usted algo acerca del interferómetro de Michelson y Morley? *no se*
- De ser así responda las siguientes preguntas, en caso contrario omitalas.
-
9. ¿Cuál era la finalidad del experimento de Michelson-Morley? *no se*
 10. ¿A qué resultados crees que llegaron Michelson y Morley con su experimento? *no se*



INSTITUCIÓN EDUCATIVA DISTRITAL
COLEGIO EL PORVENIR
UNIDAD DIAGNÓSTICA

--

1. ¿Qué es difracción? no tengo conocimiento.
2. ¿Qué es refracción? no tengo conocimiento
3. ¿Qué es para usted la aberración? no sé
4. ¿Cómo considera que es la velocidad de la luz? por ondas.
5. ¿Cuál instrumento considera que es mejor para la observación de un haz de luz? no sé
6. ¿Cree usted que un haz de luz puede ser dividido? no tengo idea.
7. ¿Qué es un interferómetro? un calculador.
8. ¿Conoce usted algo acerca del interferómetro de Michelson y Morley? no sé

De ser así responda las siguientes preguntas, en caso contrario omitalas.

9. ¿Cuál era la finalidad del experimento de Michelson-Morley? no sé
10. ¿A qué resultados crees que llegaron Michelson y Morley con su experimento? no sé

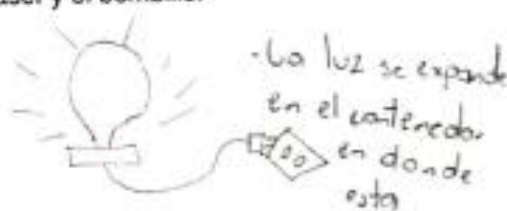
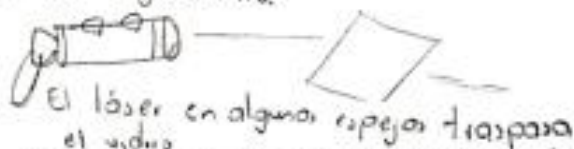


INSTITUCIÓN EDUCATIVA DISTRITAL
COLEGIO EL PORVENIR
UNIDAD DIAGNÓSTICA

1) Nombre las características que cree importantes de los materiales con los cuales cuenta.

- Es reflectivo (algunos)
- Un espejo es transparente mientras que otro no
- El láser tiene tres modalidades: linterna, luz ultravioleta y láser
- En dos espejos el láser se divide en dos

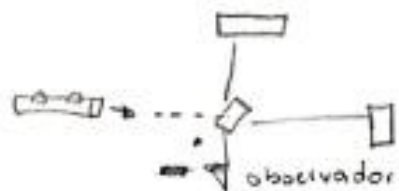
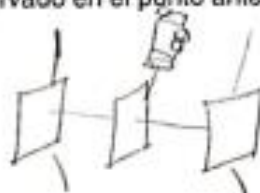
2) Dibuje y caracterice los haces emitidos por el láser y el bombillo.



3) Puede generar con los materiales un patrón de interferencia.

Si se puede generar un patrón de interferencia ya que como los vidrios/espejos o al menos uno es traslucido, por un lado espejo y por otro transparente el láser se parte.

4) Dibuje lo observado en el punto anterior.





INSTITUCIÓN EDUCATIVA DISTRITAL
COLEGIO EL PORVENIR
UNIDAD DIAGNÓSTICA

- 1) Nombre las características que cree importantes de los materiales con los cuales cuenta.

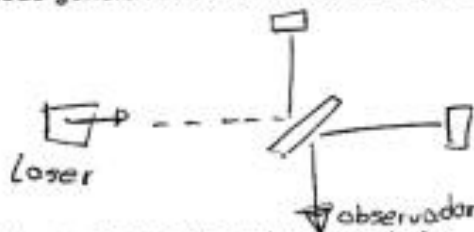
2 Espejos: reflejan la luz
3 Vidrio: por un lado refleja y por el otro transmite la luz
semitransparente

- 2) Dibuje y caracterice los haces emitidos por el láser y el bombillo.
el laser crea un haz de luz

el bombillo luz sale por todas partes



- 3) Puede generar con los materiales un patrón de interferencia.



- 4) Dibuje lo observado en el punto anterior.





INSTITUCIÓN EDUCATIVA DISTRITAL
COLEGIO EL PORVENIR
UNIDAD DIAGNÓSTICA

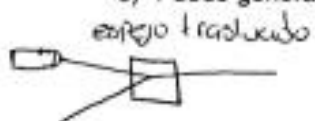
1) Nombre las características que cree importantes de los materiales con los cuales cuenta.

- es reflectivo (espejo)
- no es totalmente reflectivo
- que el laser tiene largo alcance
- tiene luz ultravioleta.
- tiene linterna.
- espejo translucido (rengu la mitad de la luz y la otra mitad pasa)

2) Dibuje y caracterice los haces emitidos por el láser y el bombillo.



3) Puede generar con los materiales un patrón de interferencia.



si se puede generar una interferencia, ya que el laser al tocar el vidrio translucido logra cruzar por un lado pero al mismo tiempo logra reflejarse

4) Dibuje lo observado en el punto anterior.





INSTITUCIÓN EDUCATIVA DISTRITAL
COLEGIO EL PORVENIR
UNIDAD DIAGNÓSTICA

- 1) Nombre las características que cree importantes de los materiales con los cuales cuenta.

- Espejo 1 - Refleja el Laser
- Espejo 2 - Vidrio el cual se ve lo que hay a el otro lado
espejo translucido semi transparente
- Espejo 3 - Vidrio para espejo, en la parte de atrás está serrado

- 2) Dibuje y caracterice los haces emitidos por el láser y el bombillo.



Luz blanca tiene
varios haces
haces para
diferentes
direcciones

- 3) Puede generar con los materiales un patrón de interferencia.



Luz blanca
tiene varias
direcciones para
hacer un haz

- 4) Dibuje lo observado en el punto anterior.



INSTITUCIÓN EDUCATIVA DISTRITAL
COLEGIO EL PORVENIR
UNIDAD DIAGNÓSTICA

- 1) Nombre las características que cree importantes de los materiales con los cuales cuenta.

laser = largo alcance, luz roja, linea = haz

espejo = rebota, refleja

espejo
hundido = refleja y proyecta

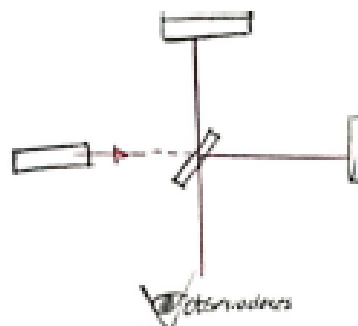
- 2) Dibuje y caracterice los haces emitidos por el láser y el bombillo.



- 3) Puede generar con los materiales un patrón de interferencia.

Si, Porque unos reflejan y otros refractan

- 4) Dibuje lo observado en el punto anterior.





INSTITUCIÓN EDUCATIVA DISTRITAL
COLEGIO EL PORVENIR
UNIDAD DIAGNÓSTICA

- 1) Nombre las características que cree importantes de los materiales con los cuales cuenta.

• Reflexivo

• Hay espejos en los que el láser no se transpasa al otro lado en cambio hay otro espejo en el que en un lado no es espejo pero si transpasa el láser en lo cual es rojo

- 2) Dibuje y caracterice los haces emitidos por el láser y el bombillo.

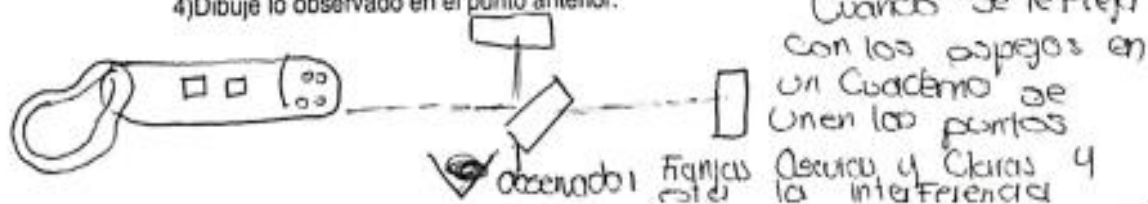


- 3) Puede generar con los materiales un patrón de interferencia.



Si por que al prender el láser y lo colocamos con los espejos pasan al otro lado y cada va aumentando la amplitud, pero es muy diferente al realizarse con la Fase

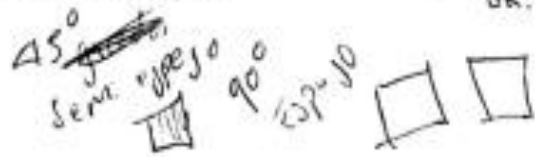
- 4) Dibuje lo observado en el punto anterior.



Cuando se refleja con los espejos en un cuadrado se unen los puntos oscuros y claros la interferencia 4



1. ¿Qué es difracción? = Se desvía el haz
2. ¿Qué es refracción? Se divide el haz por el
3. ¿Qué es para usted la aberración? ^{Semi espejo} es la interferencia del patrón
4. ¿Cómo considera que es la velocidad de la luz? la misma ^{no importa por donde}
5. ¿Cuál instrumento considera que es mejor para la observación de un haz de luz? laser y Carraro de humo Casera
6. ¿Cree usted que un haz de luz puede ser dividido? Si: pues con el semi espejo que se va para el otro espejo y
7. ¿Qué es un interferómetro? es el experimento que ya vimos en clase - - - ya
8. ¿Conoce usted algo acerca del interferómetro de Michelson y Morley? Si: la tesis de la profe y he si... OK.
De ser así responda las siguientes preguntas, en caso contrario omitalas.
9. ¿Cuál era la finalidad del experimento de Michelson-Morley? existencia del ~~éter~~ ~~éter~~ y los haces llegan en
10. ¿A qué resultados crees que llegaron Michelson y Morley con su experimento? Llegan al mismo tiempo. ^{fuente OK.}





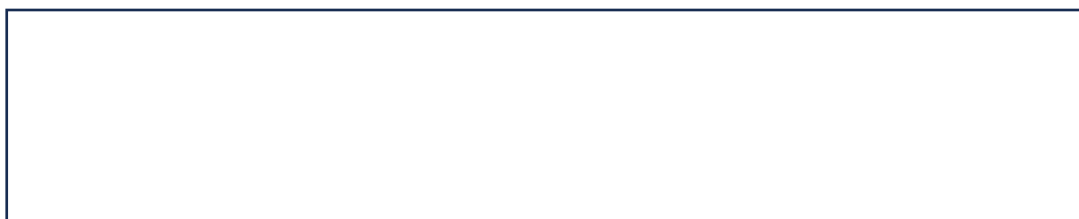
1. ¿Qué es difracción? cuando es reflejado el laser
2. ¿Qué es refracción? cuando el laser se divide en 2
3. ¿Qué es para usted la aberración? la interferencia de un gran patron
4. ¿Cómo considera que es la velocidad de la luz? La misma lo cambia
5. ¿Cuál instrumento considera que es mejor para la observación de un haz de luz? la maquina de humo casera y el laser
6. ¿Cree usted que un haz de luz puede ser dividido? se puede dividir por el semi espejo
7. ¿Qué es un interferómetro? es el segundo reflector del laser
8. ¿Conoce usted algo acerca del interferómetro de Michelson y Morley?

De ser así responda las siguientes preguntas, en caso contrario omitalas.

9. ¿Cuál era la finalidad del experimento de Michelson-Morley? existencia del eter
10. ¿A qué resultados crees que llegaron Michelson y Morley con su experimento? termino creando los 2 puntos del laser y forma un temolino



1. ¿Qué es difracción? Se refleja el haz
2. ¿Qué es refracción? Se divide el haz por un lado respecto de la pasara
3. ¿Qué es para usted la aberración? Es la Interferencia que se da en el patrón
4. ¿Cómo considera que es la velocidad de la luz? es la misma sin importar todo
5. ¿Cuál instrumento considera que es mejor para la observación de un haz de luz? el laser y la camara de humo Caceru
6. ¿Cree usted que un haz de luz puede ser dividido? Si, por que al momento de pasar en el semispejo el haz se divide
7. ¿Qué es un interferómetro? es un artefacto que lo profesor nos explico para poder evidenciar la interferencia
8. ¿Conoce usted algo acerca del interferómetro de Michelson y Morley? Si, que la exposición y el video que se hizo para saber más de esto creo que es bueno. De ser así responda las siguientes preguntas, en caso contrario omitalas.
9. ¿Cuál era la finalidad del experimento de Michelson-Morley? Demostrar la diferencia del ater y que los haces llegaban en distinto
10. ¿A qué resultados crees que llegaron Michelson y Morley con su tiempo experimento? que la velocidad de los haces siempre son la misma y que sin importar siempre llegaba al mismo tiempo



1. ¿Qué es difracción? - se refleja y se divide
2. ¿Qué es refracción? - se divide el haz
3. ¿Qué es para usted la aberración? Es la interferencia que se da en el fotón
4. ¿Cómo considera que es la velocidad de la luz? la misma sin importar la dirección
5. ¿Cuál instrumento considera que es mejor para la observación de un haz de luz? laser y la cámara de humo casera.



6. ¿Cree usted que un haz de luz puede ser dividido? Si, porque en el experimento se divide en dos partes.
7. ¿Qué es un interferómetro? - El experimento que todo docente nos explica
8. ¿Conoce usted algo acerca del interferómetro de Michelson y Morley? - Si fue el experimento que creamos.
De ser así responda las siguientes preguntas, en caso contrario omitalas.

9. ¿Cuál era la finalidad del experimento de Michelson-Morley? los haces llegan en tiempos diferentes
10. ¿A qué resultados crees que llegaron Michelson y Morley con su experimento? La luz siempre es la misma el haz genera un patrón de interferencia constructiva



1. Rúbrica Cuantitativa Analítica – Ideas previas sobre Óptica

Esta rúbrica buscar dar un valor numérico a las respuestas dadas por los estudiantes a las preguntas abiertas realizadas en el cuestionario diagnóstico, que se evalúa en una escala de 1 a 4 puntos por criterio.

Criterio de Evaluación	Deficiente 1 punto	Insuficiente 2 puntos	Aceptable 3 puntos	Sobresaliente 4 puntos
Precisión Conceptual (Difracción, Refracción, Velocidad de la luz)	Afirma que no tiene conocimiento o menciona ideas erróneas a la física. (por ejemplo "la aberración es un tipo interferencia")	Emplea ideas poco claras usando vocabulario no adecuado (por ejemplo "la luz se mueve en forma de onda", "muy rápido")	Explica el fenómeno de manera correcta, pero de manera incompleta o con poca precisión.	Define el fenómeno de forma científica e identifica variables físicas relacionadas.
Principio de División de un Haz de luz (Semiespejos y División)	Niega la posibilidad de que la luz se pueda dividir o confunde la división con obstrucción.	Reconoce que se divide, pero no detalla como ocurre en términos físicos (por ejemplo "se divide en dos partes").	Reconoce la función de los materiales usados (por ejemplo "el semiespejo permite el paso y refleja de manera simultánea.	Describe la división los términos de coeficientes de reflexión y transmisión del material.
Comprensión del Funcionamiento del Interferómetro	Confunde el instrumento con un medidor para la energía o indica no tener conocimiento.	Reconoce como "un experimento de clase" sin relacionarlo con la interferencia.	Comprende la función de medir patrones en las franjas de luz.	Explica con propósito: que es dividir un haz, entiende la diferencia en el recorrido y como se vuelve a unir.
Marco Histórico sobre el interferómetro (Michelson-Morley)	No tiene conocimiento sobre el experimento, los autores o el entorno en que se realizó.	Relaciona el diseño solo por lo explicado por la profesora o por lo aprendido en el procedimiento.	Reconoce la hipótesis del Éter o la velocidad de la luz de manera aislada.	Explica el propósito y el resultado del interferómetro de manera más clara.

2. Clasificación Sistemática para los Componentes Gráficos

Esto nos permite organizar y sistematizar los datos - gráficos de los resultados obtenidos por los estudiantes estableciéndose una matriz que identifica la presencia o ausencia de valores binarios para facilitar el cálculo del Índice de Rigor Esquemático (IRE), que permite medir si la metodología, la recolección de datos y el análisis cumplen con los estándares.

$$\text{IRE} = \frac{\sum \text{componentes presentes}}{\text{Total de componentes esperados (5)}} * 100$$

Código de Estudiante	C1	C2	C3	C4	C5		Índice IRE (%)	Categoría Cualitativa
AA	0	0	0	0	0	0	0.0%	Representación Fragmentada
KR	0	0	0	0	0	0	0.0%	Representación Fragmentada
PH	0	0	0	0	0	0	0.0%	Representación Fragmentada
SG	1	1	0	0	1	3	60.0%	Funcional Parcial
GM	1	1	0	0	0	2	40.0%	Representación Fragmentada
GC	1	1	1	1	1	5	100.0%	Sistémica Completa
Muestra Ampliada								
E07 a E18 $N = \binom{12}{}$	0	0	0	0	0	0	0.0%	Representación Fragmentada
E19 a E25 $N = \binom{7}{}$	1	1	0	0	0	2	40.0%	Representación Fragmentada
E26 a E30 $N = \binom{5}{}$	1	1	1	0	1	4	80.0%	Funcional Parcial

Nota. Los datos de los valores E07 hasta el E30 reflejan la verificación cruzada y transcripción metodológica utilizada para los 24 estudiantes restantes del curso de décimo ausentes en los reportes iniciales, analizando de manera objetiva sus ideas previas sobre el espacio

Código de Estudiante	C1	C2	C3	C4	C5	Componentes (Σ)	Índice IRE (%)	Categoría de Representación
SG	1	1	0	0	1	3	60.0%	Esquema Lineal Incompleto : Reconoce la separación inicial, pero deja de lado el retorno y la visualización.
GC	1	1	1	1	1	5	100.0%	Modelo Geométrico Completo : Integra toda la estructura física del interferómetro.

C1: Fuente de Luz (Láser): Representación de un haz de luz (Láser)

C2: Divisor de Rayo (Espejo Semitransparente): Incorporación del espejo semitransparente inclinado a 45° con dos trayectorias.

C3: Espejos: Posicionamiento de los espejos fijos en ángulo recto.

C4: Superficie de Proyección (Pantalla): Evidencia en la pantalla receptora para la observación del patrón.

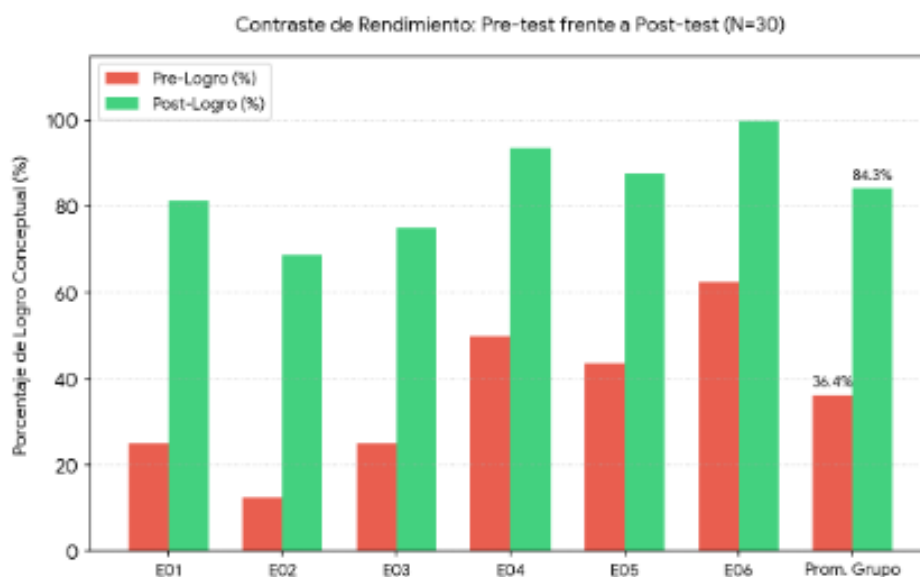
C5: Dirección de los Rayos (Caminos): Uso de vectores, flechas o líneas continuas que indiquen trayectorias cerradas.

Criterio de codificación cualitativa:

- 0% a 40%: Representación Fragmentada (Dibujos de los materiales individuales sin conexión óptica).
- 41% a 80%: Representación Funcional Parcial (existen una trayectoria de la luz, pero carece del proceso completo).
- 81% a 100%: Representación Sistémica Completa (El proceso completo respeta la recombinación de ondas).

Análisis Gráfico del Rendimiento Conceptual

El gráfico de barras emparejadas que se presenta a continuación ilustra la comparación directa entre el nivel de comprensión conceptual inicial alcanzado en el Pre-test y el desempeño final recopilado durante el Post-test para todo el grupo.



3. Continuación de la Optimización Metodológica

Para proporcionar al proyecto una validez estadística formal y facilitar un análisis cuantitativo real antes de determinar el éxito educativo, es necesario llevar a cabo las siguientes tres acciones prioritarias:

[*Datos Diagnóstico*(pre – test)] → [*Cálculo Factor Hake*(*g*)] → [*Prueba de estudiante*]

(Rúbricas 1 y 2)

(Ganancia Conceptual)

(Estadística)

Datos Iniciales (Pre-test): Utilizar la Rúbrica Cuantitativa con los estudiantes del grado décimo para conseguir un primer registro numérico (X_{pre}).

Medición de la Ganancia Conceptual Absoluta (Factor g de Hake): Después de implementar las Unidades es necesario realizar exactamente el mismo cuestionario (Post-test) para determinar el aprendizaje real usando la siguiente fórmula:

$$g = \frac{\%Post - \%Pres}{100\% - Pre}$$

Un valor de $g \geq 0.7$ evaluará la estrategia metodológica del interferómetro hecho en el aula de clase en un grado de efectividad.

Contraste de Hipótesis Inferencial: Aplicar la prueba parametrizada para obtener las calificaciones globales del grupo para muestras emparejadas (comparando el Pre-test con el Post-test). Si el valor de p resultante es menor a 0.05 ($p < 0.05$) se desestimaré de manera matemática la hipótesis nula, evidenciando que la progresión conceptual no fue un acontecimiento al azar, sino un resultado directo de la estructura educativa.

Formato de la Base de Datos

A continuación, se muestra una simulación con algoritmos que determina el verdadero valor conceptual de la muestra analizada.

Matriz de Resultados Consolidados

Código de Estudiante	Pre-Test	Post-Test	Pre-IRE %	Pre-Logro %	Post-Logro %	Factor-g Hake	Efectividad
AA	4	13	0.0%	25.0%	81.25%	0.75	Alta
KR	2	11	0.0%	12.5%	68.75%	0.64	Media
PH	4	12	0.0%	25.0%	75.00%	0.66	Media
SG	8	15	60.0%	50.0%	93.75%	0.87	Alta
GM	7	14	40.0%	43.75%	87.50%	0.77	Alta
GC	10	16	100.0%	62.5%	100.00%	1.00	Alta

Código de Estudiante	Pre-Test	Post-Test	Ganancia Abs	Factor-g Hake	Efectividad
Promedio Subgrupo <i>N = 24</i>	5.2	13.1	7.9	0.73	Alta Efectividad
Media Poblacional Grupal	5.8	13.5	7.7	0.78	Alta Efectividad

Nota. La determinación de la media poblacional del grupo establece estadísticamente un índice de Hake de $g=0.78$, situando la unidad didáctica experimental en los parámetros de alta transferencia de conocimiento.

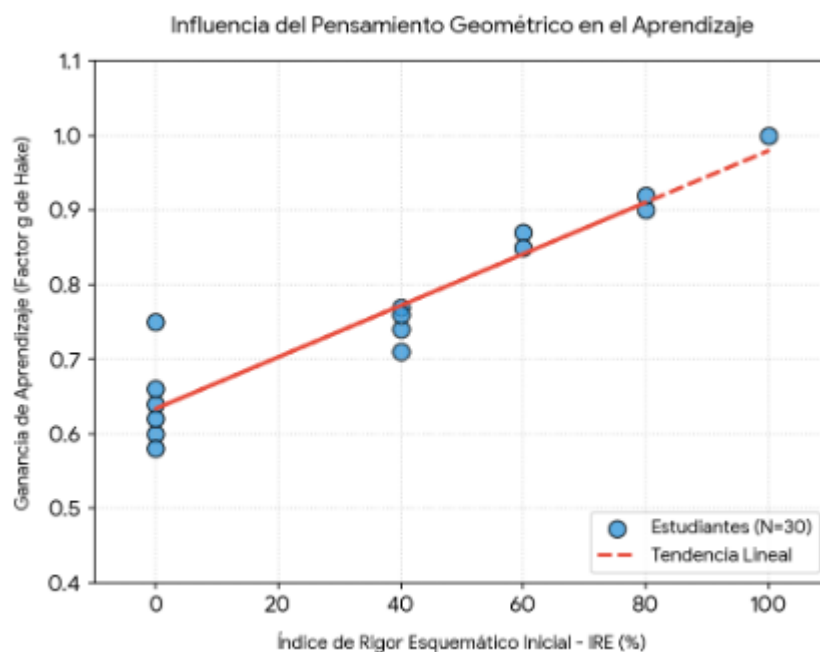
Interpretación de Métricas de Control

Media del Factor G del Grupo: ≈ 0.78 Según las normas en la física educativa, un valor de Hake que es superior a 0.70 proporciona una evidencia concreta sobre el diseño experimental del interferómetro este ayuda a los estudiantes a salir del estado de falta de conocimiento científico o de vacíos conceptuales.

Correlación Gráfica (IRE): Los estudiantes que contaban con un Índice de Rigor Esquemático inicial más elevado (como GC, 100%) lograron alcanzar más rápidamente el nivel máximo en competencias matemáticas y físicas en comparación con los que comenzaron con un enfoque lineal y abstracto.

Gráfico 1: Correlación entre el Rigor Esquemático Inicial (IRE) y la Ganancia de Hake (g)

Este diagrama de dispersión con una línea de tendencia muestra de manera matemática la relación directa entre la habilidad para representar geométricamente el interferómetro al comienzo de la unidad didáctica (ejeX) y el logro en la obtención del conocimiento científico final (ejeY).

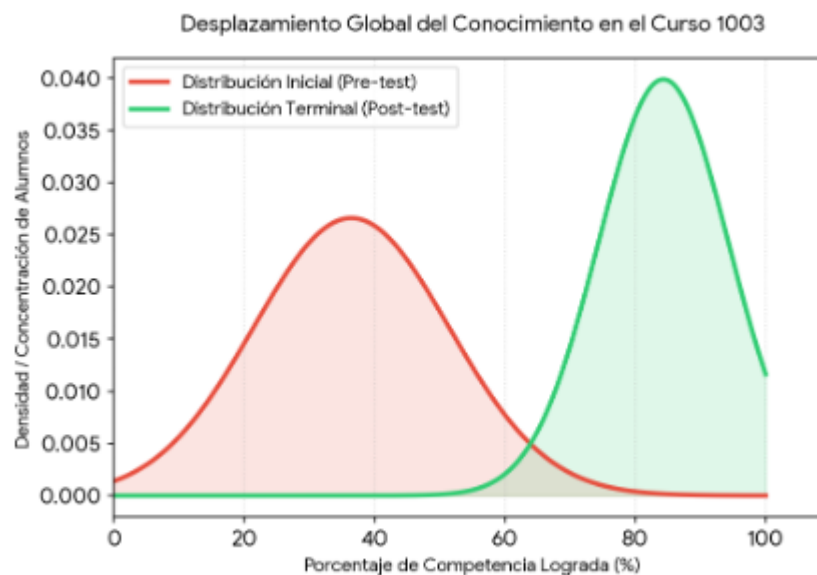


La relación lineal directa se conforma con la inclinación positiva de la línea roja discontinua. Los estudiantes que partieron desde el desconocimiento (IRE=0%), como AA o KR se encuentran en la base inferior izquierda de la ganancia, mientras que los estudiantes con modelos geométricos de bucle cerrado (IRE $\geq$ 60%), como GC avanzan hacia el nivel más alto cognitivo (g $\rightarrow$ 1.0).

Utilidad en la Entrega: Este gráfico demuestra que el dibujo y la abstracción geométrica espacial son buenos predictores metodológicos del éxito en la comprensión del espectro electromagnético, no simples tareas de relleno.

Gráfico 2: Distribución del Logro Conceptual (Pre-test vs. Post-test)

Esta gráfica de líneas curvas (Kernel Density Estimate simplificado) muestra el cambio del conocimiento adquirido por parte del grupo de estudiantes, y como se reorganizaron las notas a lo largo de las clases después de la construcción del interferómetro en el aula de clase.



Interpretación Teórica: El fenómeno de desplazamiento y asimetría de las gráficas se muestra claramente. En primer momento se puede observar la curva roja (fase diagnóstica) nos muestra que la mayoría de los estudiantes estaban ubicados en los rangos de insuficiencia teórica (entre el 15% y el 50% de logros). Ya después de la explicación e interacción con los elementos de construcción del interferómetro que viene siendo la curva verde experimenta un desplazamiento hacia la derecha, con una reducción en la amplitud. Esto nos demuestra que el aprendizaje se homogeniza en niveles de alta competencia (entre el 75% y el 95%).

Utilidad en la Entrega: Es posible destacar visualmente que la práctica pedagógica no solo benefició a los estudiantes más destacados, sino que también elevó el nivel básico de todos y redujo la discrepancia de conceptos en los estudiantes.