

El tratamiento didáctico de los fenómenos de interferencia y difracción en textos de nivel universitario

Didactic treatment of interference and diffraction phenomena in university level texts

REVISTA
DE
ENSEÑANZA
DE LA
FÍSICA

Silvia Bravo^{1,2} y Marta Pesa^{1,2}

¹Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología, Universidad Nacional de Tucumán, Avenida Independencia 180, San Miguel de Tucumán, CP 4000, Tucumán. Argentina.

²Facultad Regional de Tucumán, Rivadavia 1050, San Miguel de Tucumán, CP 4000, Tucumán. Argentina.

E-mail: sbravo@herrera.unt.edu.ar

Resumen

Este trabajo presenta un análisis de libros de texto de nivel universitario básico acerca del desarrollo de la óptica ondulatoria. El estudio de textos está centrado en la caracterización de la construcción progresiva de los conceptos de difracción e interferencia. El análisis se complementa con una síntesis histórica acerca del lugar que ocupa el fenómeno de la difracción en la construcción de los modelos sobre la luz. Los resultados permiten comparar el abordaje de la temática desde los textos universitarios con la génesis de los conceptos de interferencia y difracción en la historia de la ciencia. Por último, en base a los resultados encontrados, se realiza una serie de reflexiones acerca de las dificultades que refieren los estudiantes en el cambio de paradigma entre la óptica geométrica y la óptica ondulatoria.

Palabras clave: Óptica geométrica y óptica ondulatoria; Interferencia y difracción; Libros de texto; Historia de la ciencia; Actividades experimentales.

Abstract

This paper presents an analysis of basic university level textbooks on the development of wave optics. The study of texts is centered in the characterization of the progressive construction of the concepts of diffraction and interference. The analysis is complemented by a historical synthesis about the place of the phenomenon of diffraction in the construction of light models. The results allow comparing the approach from university texts with the genesis of the concepts of interference and diffraction in the science history. Finally, based on conclusions of both studies, a series of reflections on students difficulties about the paradigm shift between geometric optics and wave optics, are made.

Keywords: Geometric optics and wave optics; Interference and diffraction; Textbooks; History of science; Experimental activities.

I. INTRODUCCIÓN

Los resultados de la investigación educativa y la experiencia docente en el contexto de un laboratorio de física, coinciden en señalar la dificultad que evidencian los estudiantes en el cambio de paradigma entre la óptica geométrica y la óptica ondulatoria durante el aprendizaje de los fenómenos de interferencia y difracción (Wosilait y otros, 1999; Colin y Viennot, 2001; Bravo y Pesa, 2016).

Consideramos que cualquier interpretación acerca del origen de las dificultades de los estudiantes, así como el diseño de una estrategia didáctica para el aprendizaje, debe partir de la caracterización acerca de qué sabe el estudiante sobre el tema cuando llega a abordar esas experiencias de laboratorio (Ausubel, 2000; Vergnaud, 2013). Teniendo en cuenta que la construcción de su conocimiento se da tanto en el contexto cotidiano como en situación de enseñanza formal, como primer abordaje nos centramos sobre materiales que se utilizan en la enseñanza formal. El estudio del lugar que ocupa el fenómeno de la difracción de la luz en la secuencia de desarrollo de los conceptos en los principales libros didácticos sobre óptica en nivel universitario, nos parece un aspecto de relevancia por cuanto:

- a) el currículo que elabora el profesor en la institución generalmente está pautado por el desarrollo que proponen los textos;
- b) los alumnos van a ir construyendo sus modelos referidos al comportamiento de los fenómenos ópticos a partir de las características de las diferentes propuestas didácticas en la enseñanza formal y el manejo de materiales como el libro de texto;
- c) la consulta a libros didácticos es una práctica usual en el nivel universitario y exigida por los profesores en la mayoría de los casos.

Se realiza entonces una caracterización de la construcción progresiva de los conceptos de difracción e interferencia en el desarrollo de la óptica, en diversos textos utilizados en la educación formal en el ciclo básico universitario. Se procura interpretar con mayor profundidad y fundamento qué conoce el alumno sobre los modelos de la óptica y cómo ha llegado a conocerlos desde la enseñanza formal, cuando aborda problemas relativos a los fenómenos de difracción en el ámbito de un laboratorio de física.

Por otra parte, reconocemos que el desarrollo conceptual de la óptica ondulatoria en la instrucción formal no es similar al proceso de construcción del conocimiento en la historia de la ciencia. La historia de la ciencia muestra que el concepto de la difracción jugó un papel central en la construcción de los modelos sobre óptica ondulatoria. Desde esta perspectiva, se realiza una comparación entre el abordaje de la temática desde los textos universitarios y la génesis de los conceptos de interferencia y difracción en la historia de la ciencia, para elaborar reflexiones acerca de las dificultades de estudiantes asociadas al cambio de paradigma entre la óptica geométrica y óptica ondulatoria.

II. ANÁLISIS DE LIBROS DE TEXTO

A. Metodología de trabajo

Se plantea un análisis de contenido de los principales libros de texto de física básica de nivel universitario. El análisis de contenido es una técnica destinada a identificar de manera sistemática y objetiva ciertas características específicas dentro de un texto para descubrir la estructura interna de la información. En esta investigación el objeto de análisis consiste en el “desarrollo conceptual de la óptica” y las preguntas que guían el análisis de los libros didácticos son las siguientes:

- ¿De qué manera proponen el desarrollo conceptual de la óptica ondulatoria los diferentes textos de nivel universitario?
- ¿Qué lugar ocupa el fenómeno de la difracción en ese desarrollo?
- ¿Algunos aspectos de las propuestas de los diferentes textos podrían tener relación con las dificultades manifestadas por los alumnos en el cambio de paradigma entre la óptica geométrica y la óptica ondulatoria?

Tratando de respetar criterios de exhaustividad, representatividad, homogeneidad y pertinencia (Porta y Silva, 2013) en la selección, se ha realizado una revisión sobre la disponibilidad de libros de física en la biblioteca de la institución y en librerías locales de venta y se ha revisado la bibliografía que indican los programas de la asignatura Física III para ingenierías y Óptica para Licenciatura en Física de la Universidad Nacional de Tucumán. Se han escogido cuatro textos que han sido identificados como los más consultados por los estudiantes de carreras de ingeniería y de licenciatura en física y tres textos que desarrollan con un mayor grado de profundidad las temáticas consideradas y son utilizados por estudiantes de la carrera licenciatura en física:

- Young, H. y Freedman, R. Física Universitaria. Vol 2. Editorial Pearson. 2013.
- Serway R. y Jewett J. Física. Volumen II. Ed. CENGAGE Learning. 2008.
- Halliday, D., Resnick, R., Krane, K. Física, Vol. 2. Editorial CECOSA. México. 1998.
- Tipler, P. Física. Edit. Reverté S. A. España. 1996.
- Hecht, E. y Zajac, A. Óptica. Edit. Addison–Wesley Iberoamericana S.A. 2000.
- Alonso, M. y Finn, E. Física. Volumen II: Campos y Ondas. Fondo Educ. Interam. Mexico. 1976.
- Landsberg, G. S. Óptica. Primer Tomo. Traducción al español. Editorial Mir. 1983.

Para el análisis cualitativo del desarrollo del tema se han definido las siguientes dimensiones de análisis y las sub–dimensiones o aspectos que las caracterizan:

1. Secuencia en que se presentan y exhaustividad en el desarrollo de los siguientes núcleos temáticos: a) presentación de aspectos históricos; b) ondas electromagnéticas; c) polarización; d) óptica geométrica; e) interferencia y difracción;
2. Delimitación de los límites de validez de la óptica geométrica y la óptica ondulatoria;
3. Desarrollo de los conceptos de interferencia y difracción: a) introducción cualitativa del concepto de difracción; b) uso de analogías; c) condiciones de coherencia; d) definición de interferencia luminosa y e) definición de difracción de la luz.

B. La secuencia temática en el desarrollo de la óptica

Se ha realizado un análisis exhaustivo de los textos seleccionados y se han sistematizado los resultados en una serie de tablas comparativas de los textos seleccionados.

En la tabla I (ver anexo) se consigna la secuencia en que se desarrollan los distintos núcleos temáticos de la óptica hasta llegar al abordaje de los fenómenos de interferencia y difracción. Se resaltan con letra cursiva y asterisco (*) los aspectos señalados en las dimensiones de análisis, tales como: *la introducción histórica*, *la definición de frente de onda y rayo*, la introducción de una *primera definición de difracción* y *la delimitación entre la óptica ondulatoria y la óptica geométrica*.

La tabla II del anexo representa una continuación de la anterior y muestra la secuencia en que se abordan los conceptos de interferencia y difracción dentro del desarrollo de la óptica. Se resaltan con cursiva y asterisco (*) aquellos aspectos contemplados en las dimensiones de análisis, tales como: *definición de interferencia*, *definición de coherencia*, la difracción en la *experiencia de Young*, el *uso de analogías* y la *definición de difracción*.

La tabla III (anexo) muestra, en la segunda columna, cómo se delimita el ámbito de la Óptica Geométrica en cada uno de los textos seleccionados. En todos los casos presentados, se ha encontrado una introducción previa de los conceptos de frente de onda y rayo en distintos momentos del desarrollo de los conceptos. La tercera columna muestra que en los siete textos analizados se distinguen dos categorías distintas de criterios de delimitación.

La tabla IV del anexo muestra, en la segunda columna, cómo se define el concepto de interferencia en cada uno de los textos y, en la tercera columna, una categorización basada en aspectos similares de la definición.

La tabla V, del mismo anexo, muestra en la segunda columna cómo se define el concepto de difracción y en la tercera columna se puede observar una categorización según los aspectos de este fenómeno que cada autor considera relevante.

C. Síntesis del análisis de contenido

Dos de los textos considerados (Hecht y Landsberg) presentan una introducción histórica exhaustiva, que permite comprender la construcción de las teorías sobre la luz y el papel de la experimentación en el desarrollo de las mismas. Son textos específicos de Óptica, utilizados generalmente en la carrera de Licenciatura en Física. Del resto, solamente dos (Resnick y Tipler) presentan una breve síntesis de aspectos históricos cuando definen luz a partir del espectro electromagnético y se refieren a la naturaleza de la misma.

El orden de presentación y exposición de los temas es similar en seis de textos analizados (Young, Resnick, Tipler, Serway, Alonso y Hecht). Se inicia con la óptica de principios del siglo XX, estableciendo la naturaleza de la luz como una onda electromagnética que puede propagarse en el vacío y se estudian sus características desde este modelo. Se abordan en primer lugar los fenómenos de la reflexión, refracción, colores, arco iris, etc., que históricamente se habían interpretado desde teorías pautadas por el principio de propagación rectilínea de la luz. El desarrollo temático continúa delimitando el ámbito de la óptica geométrica y de la óptica ondulatoria y abordando luego la formación de imágenes por lentes, espejos y sistemas ópticos desde el modelo simplificado de rayos. Por último, se estudian aquellos que tuvieron que esperar dos siglos para ser reconocidos y explicados como ondulatorios: los fenómenos de interferencia y difracción. La única diferencia observada entre los textos consiste en el momento de la secuencia en el cual se abordan los fenómenos relacionados con la polarización de la luz, aunque en todos los casos analizados se realiza una introducción a la misma al presentar el modelo ondulatorio y definir onda plana polarizada.

Solamente uno de los textos analizados (Landsberg) aborda los fenómenos de interferencia y difracción inmediatamente después de considerar luz como onda electromagnética y presentar el modelo ondulatorio. Luego de un estudio exhaustivo de la interferencia y difracción, fundamenta con criterios experimentales la posibilidad de utilizar un modelo simplificado, óptica de rayos, para abordar recién los fenómenos de reflexión y refracción de la luz.

Todos los textos delimitan explícitamente el ámbito de la óptica geométrica y la óptica ondulatoria. Uno de ellos (Young) solo menciona la adecuación del modelo de rayos sin especificar criterios experimentales para considerar dicha adecuación. El resto de los textos establece un criterio experimental para delimitar el ámbito de validez del modelo de rayos o de la propagación rectilínea: dimensiones de los objetos mucho mayores que la longitud de onda ($\lambda \ll d$). Tres de los textos analizados (Serway, Resnick y Hecht) presentan y explican este criterio experimental con una definición cualitativa de difracción a partir de diagramas de frentes de onda y rayos para aberturas del tamaño de la longitud de onda, λ , antes de desarrollar el tema de óptica geométrica.

En la muestra considerada, la definición de interferencia se encuentra dividida en dos clases: enunciados que consideran solo el aspecto operativo como superposición de ondas (Tipler, Serway, Sears, Alonso) y enunciados que implican un análisis más profundo sobre la intensidad de la radiación resultante e involucran implícitamente el concepto de coherencia (Hecht, Resnick, Landsberg).

La definición de difracción también se encuentra dividida en dos categorías: enunciados que describen el fenómeno como desviación de la propagación rectilínea y formación de patrones de intensidad (Serway, Resnick, Tipler) y enunciados que describen el fenómeno considerando la alteración del frente de onda por la presencia de obstáculos en la propagación del mismo (Hecht, Alonso, Young, Landsberg).

Solamente dos de los textos analizados (Hecht y Landsberg), específicos en el tema óptica y utilizados por alumnos de Licenciatura, presentan un estudio detallado acerca de la coherencia luminosa. Este análisis involucra las dimensiones del sistema experimental, las características de emisión de la fuente y la respuesta del ojo como sensor a las distintas magnitudes físicas involucradas.

III. EL FENÓMENO DE LA DIFRACCIÓN EN LA HISTORIA DE LA CIENCIA. LA IMPORTANCIA DE LA EXPERIMENTACIÓN

La difracción de la luz se observó por primera vez en el siglo XVII y recién al cabo de dos siglos caracterizados por disputas entre diferentes teorías, se logró encontrar una explicación satisfactoria al mismo mediante la teoría ondulatoria en el siglo XIX.

A partir del siglo XVII, las disputas sobre la concepción de la naturaleza de la luz estuvieron basadas en un mayor número de experimentos y predicciones y centradas en encontrar aspectos que pudieran invalidar una u otra concepción. Los principales exponentes de ideas o resultados experimentales referidos a la naturaleza y propagación de la luz en este período fueron el italiano Francesco Grimaldi, el holandés Christiaan Huygens y los ingleses Robert Hooke e Isaac Newton. La figura 1 muestra, en una línea de tiempo, las contribuciones más importantes de cada uno de ellos.

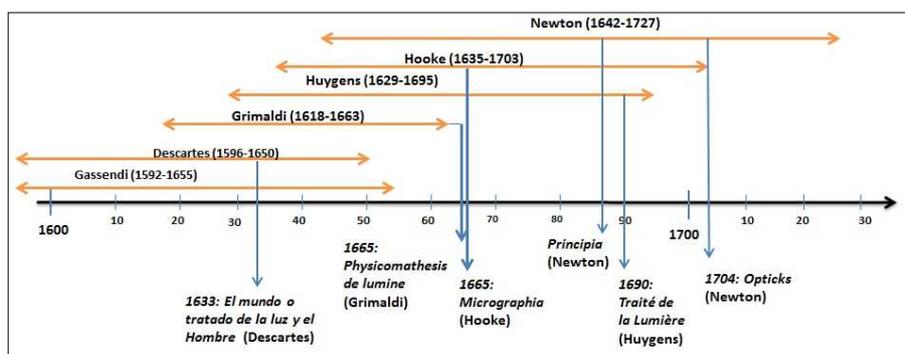


FIGURA 1. Principales exponentes de las teorías sobre la naturaleza de la luz durante el siglo XVII.

La palabra difracción fue acuñada por el físico italiano Francesco María Grimaldi (1618–1663), como producto de una detallada investigación sobre fenómenos luminosos en la década de 1660. Sus cuidadosas experiencias lo llevaron a la conclusión de que los rayos de luz se desvían de su trayectoria rectilínea al pasar cerca del borde de un objeto, ensanchando su proyección sobre una pantalla, sin que medie reflexión o refracción alguna. Concluye que la luz “se propaga no sólo de manera directa, por refracción o por reflexión, sino que existe un cuarto modo, por *difracción*” (Zajonc, 1994; Gribbin, 2003).

Aparentemente Christiaan Huygens estaba al tanto de los fenómenos observados por Grimaldi, pero no intentó elaborar una explicación al respecto. Presentó un modelo para la transmisión de la luz en forma de ondas longitudinales, por choques elásticos de los corpúsculos que constituyen el éter, semejante a cómo se propaga el sonido en el aire a través de ondas esféricas. Asocia a su modelo de propagación una construcción geométrica que se conoce hoy como principio de Huygens.

En la misma época, Robert Hooke, en Londres, describía la luz como una onda y hablaba de pulsos que se propagan por el espacio de un modo similar a las ondas creadas por una piedra sobre la superficie de un estanque. Concebía la luz como un movimiento vibratorio rápido del medio, que se propagaba a gran velocidad. Sostuvo además, que “cada pulso o vibración del cuerpo luminoso generaba una esfera”, esbozando así una teoría ondulatoria de la luz en la misma línea de Huygens y en contra de la teoría corpuscular de Newton (Hecht y Zajac, 2000). En particular, se refirió al fenómeno de difracción por un obstáculo, al describir uno de sus resultados experimentales de la siguiente manera: “la luz del Sol se reflejaba en lo profundo de la sombra de una navaja” (Pesic, 2007).

Isaac Newton comenzó sus experimentos ópticos en 1666. Postuló que la luz es un flujo de pequeñísimas partículas o corpúsculos emitidos por las fuentes luminosas, que se movían en línea recta con gran rapidez. El tamaño de estos corpúsculos de luz estaría asociado con el color. Aunque reprodujo cuidadosamente las experiencias de Grimaldi y de Hooke, Newton no abandonó su hipótesis corpuscular. Al contrario, consideró estos fenómenos como otra forma de refracción y modificó sus ideas para explicar fenómenos de este tipo y otros tales como los colores que se observan en las pompas de jabón o en películas aceitosas sobre una capa de agua (Pesic, 2007). Newton también montó un laboratorio de óptica de características similares: hizo entrar luz a una habitación oscura a través de un pequeño orificio en la ventana para estudiar la descomposición de la luz por un prisma y realizar numerosas observaciones sobre el color.

Hooke, al tanto de estas investigaciones, replicó los experimentos de Newton referidos al uso de prismas para explicar los colores. Ambos mantuvieron una serie de discusiones que se iniciaron luego de la primera presentación de Newton en 1672 y que se prolongó hasta 1678. Durante ese tiempo, Hooke avanzó con el desarrollo de su propia teoría de la vibración de la luz y el color, citando nuevos experimentos sobre la difracción para demostrar que “se pueden conseguir colores sin que medie refracción alguna” (Schaffer, 2011).

En resumen, se puede interpretar que la influencia de Newton frenó el progreso en la construcción de modelos sobre la luz dado que a fines del siglo XVIII ya había suficiente evidencia experimental favorable al modelo ondulatorio, que resurgió recién en el siglo XIX. La figura 2 muestra en una línea de tiempo las contribuciones más importantes sobre la naturaleza de la luz que se sucedieron luego de la influencia de Newton, continuando con la descripción de la figura 1.

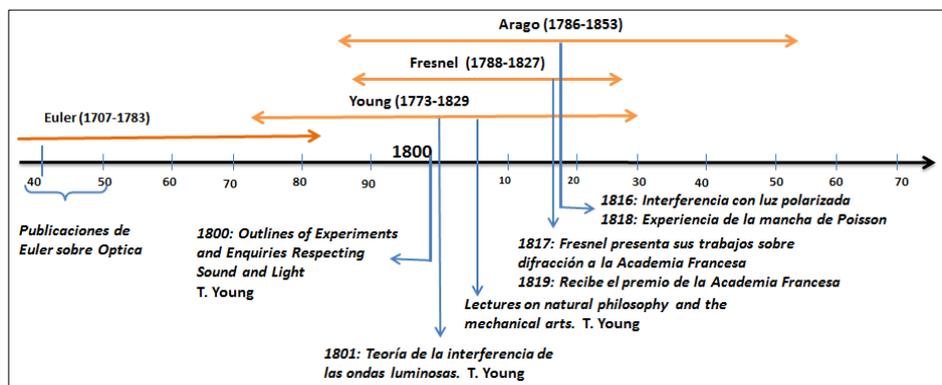


FIGURA 2. Principales contribuciones en los siglos XVIII y XIX.

El estudio conjunto de la visión y del oído llevaron a Thomas Young a pensar que la teoría ondulatoria podía abarcar ambos sentidos, adhiriendo así a una teoría vibratoria de la luz en un éter universal (Hecht y Zajac, 2000). Postuló en 1801 el principio de interferencia, que permitiría comprender los fenómenos de la difracción. Young presentó primero la forma en que se podían explicar mediante la interferencia de la luz, fenómenos que ya habían sido observados por Newton y por Hooke (como los anillos concéntricos) y luego puso en práctica el experimento de la doble rendija. Al igual que sus antecesores, las condiciones experimentales en que realizaba sus observaciones eran sumamente cuidadosas (Gribbin, 2003).

El francés Agustín Fresnel realizó ingeniosos experimentos sobre la difracción y desarrolló las bases matemáticas de una teoría ondulatoria de la luz que pudiera explicar sus observaciones (Zajonc, 2003). Desarrolló su propio modelo ondulatorio de la luz, una síntesis de los conceptos de la teoría ondulatoria de Huygens y el principio de interferencia, sin conocer los trabajos de Young ni tampoco la obra de Huygens (Gribbin, 2003). Concebía el modo de propagación de una onda primaria como “una sucesión de onditas secundarias esféricas estimuladas, que en su avance se superponen e interfieren para reformar la onda primaria en su avance, tal como aparecería un instante más tarde” (Hecht y Zajac, 2000). Gracias al énfasis matemático que logró su teoría, pudo calcular los patrones de difracción generados en obstáculos

y aberturas y también pudo explicar satisfactoriamente la propagación rectilínea en medios isotrópicos homogéneos. Este último logro de Fresnel fue el primer paso para derribar la supremacía de Newton.

En 1817 Fresnel presenta un informe de su trabajo a la Academia, pero la teoría de Fresnel implicaba que debería haber una pequeña mancha de luz en el centro de la sombra proyectada por una pantalla opaca. Arago realizó el experimento y encontró que el punto luminoso que se había pronosticado apareció exactamente donde debería estar. A partir de este momento quedó demostrado que Newton estaba en un error y ya no hubo dudas de que la luz tenía naturaleza ondulatoria.

IV. DISCUSIÓN DE RESULTADOS Y REFLEXIONES

Después de analizar el papel que tuvo la experiencia de la difracción de la luz en la formulación de las distintas teorías sobre la naturaleza de la misma, resulta comprensible que aún hoy los alumnos evidencien serias dificultades para el cambio de paradigma entre la óptica geométrica y la óptica ondulatoria cuando tienen que abordar situaciones experimentales que involucran los fenómenos de difracción e interferencia. Desde las cuidadosas y detalladas experiencias de Grimaldi y de Hooke, siguiendo por los intentos de Huygens y Newton de explicar el fenómeno sin abandonar la verdad experimental de que la luz se propaga en forma rectilínea, hasta llegar a las hipótesis de Young y Fresnel de la propagación ondulatoria, se observa que el escollo más duro para un cambio de paradigma parecía estar centrado en la necesidad de encontrar hipótesis y explicaciones que no contradigan la propagación rectilínea de la luz.

Al igual que sucede en la historia de construcción de los modelos en la óptica, en su desempeño los alumnos se aferran a la propagación rectilínea de la luz en sus predicciones, interpretaciones y explicaciones. La mayoría de los alumnos abordan las situaciones experimentales desde la óptica geométrica, o construyen modelos híbridos entre la óptica geométrica y la óptica ondulatoria donde el núcleo del razonamiento sigue siendo la propagación rectilínea de la luz.

Sin embargo, en la actualidad, en la mayoría de los currículos de ciencia la enseñanza de la óptica comienza con la definición de luz como una onda electromagnética y desde este modelo se interpretan luego los fenómenos ópticos. Es decir, el punto de partida en la transposición didáctica está en el modelo que tardó tanto tiempo en imponerse. ¿Por qué entonces los alumnos parecen tener las mismas dificultades que en la historia de la ciencia para delimitar el alcance de la propagación rectilínea de la luz? ¿Cuáles son las razones de la preeminencia de las ideas acerca de la propagación rectilínea de la luz?

Consideramos que tienen un gran arraigo porque se han ido construyendo progresivamente con las propias observaciones y experiencias cotidianas, tales como la formación de sombras y penumbras, de imágenes en espejos, etc. Pero cabe también considerar la influencia de la instrucción formal y de los libros didácticos en esta construcción progresiva de los conceptos por alumnos de nivel universitario.

Los resultados del análisis de textos muestran que los fenómenos de interferencia y difracción se estudian, en general, después de haber abordado los fenómenos de reflexión y refracción de la luz y formación de imágenes con un modelo simplificado basado en el concepto de “rayo luminoso” ¿Cómo pretendemos que nuestros alumnos “piensen” desde la óptica ondulatoria para dar respuesta a los fenómenos de interferencia y difracción inmediatamente después de “adiestrarlos” en realizar marcha de rayos para explicar la formación de imágenes en óptica geométrica? Tampoco podemos asombrarnos de que más tarde confundan un patrón de interferencia con una región de sombra y penumbra, si han explicado satisfactoriamente este efecto considerando que la fuente no es puntual sino extensa y que la luz se propaga en forma rectilínea. El alumno usa el modelo más sencillo, el que ha resultado eficiente en la explicación de fenómenos de su vida cotidiana y del comportamiento de sistemas experimentales en su enseñanza formal, tales como fuente común–orificio/obstáculo–pantalla, o fuente común–lente–pantalla (formación de sombras y penumbras y formación de imágenes reales y virtuales). Desde una teoría cognitivista de aprendizaje diríamos que han logrado desarrollar un esquema de acción efectivo basado en la propagación rectilínea de la luz para explicar distintos fenómenos del ámbito de la óptica geométrica (Vergnaud, 2013).

¿Cómo abordarían ahora esos alumnos un sistema experimental del mismo tipo (fuente–obstáculo/orificio–pantalla) si las dimensiones del obstáculo u orificio son mucho más pequeñas y se consideran fuentes de características distintas? ¿Por qué ahora se distingue entre fuente común y fuente láser? Estos cambios planteados en el sistema experimental, ¿son suficientes para actuar como detonantes de un cambio de paradigma?

Consideramos que un cambio de paradigma por parte de los alumnos necesariamente trae aparejado un análisis mucho más exhaustivo del sistema experimental en cuanto a las dimensiones involucradas, las características de la fuente que emite y la respuesta del ojo como detector de intensidad luminosa. Si bien los textos analizados son claros en cuanto a las dimensiones del sistema experimental para delimitar el ámbito de la óptica geométrica y de la óptica ondulatoria, en general (a excepción de Hecht y Landsberg)

no relacionan lo suficiente las condiciones de coherencia con las características de la fuente y las dimensiones del sistema experimental y no analizan el rol del ojo como sensor de los patrones de interferencia o difracción.

La orientación del docente también es fundamental para la interpretación correcta de las distintas representaciones de los textos y de algunas debilidades en la transposición didáctica. Por ejemplo: el principio de Huygens estaba sustentado en oscilaciones mecánicas del éter y su abandono fue un proceso muy lento que culminó en el siglo XX ¿Cómo lograr entonces en el corto lapso impuesto por el currículo, que el alumno abandone sus concepciones mecanicistas para pensar en términos de conceptos abstractos como los de campo eléctrico y magnético? Justamente en este aspecto se han detectado dificultades con la interpretación del diagrama de onda electromagnética: los alumnos atribuyen extensión espacial a la amplitud del campo eléctrico (Ambrose y otros, 1999), lo cual sugiere una concepción mecanicista ¿Cómo evitar que piense en oscilaciones mecánicas de alguna sustancia en la abertura de la rendija si tiene que imaginarse el espacio vacío de la ranura como múltiples emisores para considerar luego la interacción de la radiación emitida por éstos? Algunos textos no explicitan lo suficiente el sentido actual del principio de Huygens y presentan gráficos que tratan de simplificar el fenómeno para la comprensión del alumno, pero obstaculizan de cierta manera ese salto conceptual. El gráfico de la figura 3 utiliza explícitamente puntos para poner de manifiesto que cada parte de la rendija actúa como una fuente puntual de ondas luminosas y utiliza flechas para indicar la dirección de propagación de la radiación en la cual se analizará la superposición. Es aquí donde resulta fundamental la mediación del docente para contextualizar las representaciones o gráficos que se utilicen.

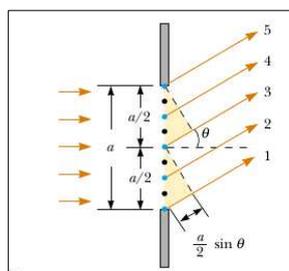


FIGURA 3. Trayectoria de los rayos luminosos en una rendija angosta. Extraído de Serway, 2008.

En relación con las posibilidades de experimentación, hoy se dispone fácilmente de fuentes con alto grado de coherencia, como el láser, que permiten visualizar sin inconvenientes patrones de difracción e interferencia, a diferencia de las enormes dificultades experimentales existentes en el siglo XVI para poner de manifiesto estos fenómenos. Se podría plantear una secuencia didáctica de tipo experimental que contemple la progresividad en la construcción del conocimiento científico, comenzando con el uso de una fuente como el láser y que se vaya complejizando al considerar distintas fuentes convencionales, sus características de emisión, las características del sensor (el ojo o el fotómetro) y las dimensiones de todo el sistema experimental involucrado.

También se considera la necesidad de incorporar actividades basadas en la historia y filosofía de la ciencia, que lleven a reflexionar sobre aquellos aspectos históricos que guardan relación con la actividad experimental que están realizando. Por ejemplo, podrían analizar la descripción de las experiencias de Grimaldi y Hooke en el siglo XVII y justificar la necesidad de tales cuidados experimentales, como el oscurecimiento total de un cuarto, el aprovechamiento máximo de la luz solar, un orificio “lo más pequeño posible” para que entre luz, etc. En efecto, la difracción de la luz por orificios u obstáculos no es fácil de poner en evidencia por medio de la experimentación utilizando fuentes comunes o luz natural. Se necesita que las dimensiones del obstáculo o abertura sean comparables a la longitud de onda y que el sistema experimental formado por la fuente de luz, orificios u obstáculos y pantalla tenga un cierto grado de coherencia espacial y temporal, para lo cual son determinantes tanto las dimensiones como la monocromaticidad de la fuente y la distancia entre elementos del sistema experimental.

Como síntesis, consideramos que sería factible superar las dificultades detectadas en el cambio de paradigma entre el modelo de rayos y el modelo ondulatorio de la luz y en la conceptualización de los fenómenos de interferencia y difracción, a través de propuestas didácticas (Bravo, 2016) que en su diseño tengan en cuenta:

- la evolución histórica de los conceptos como indicador de las dificultades que podrían presentar los alumnos en su propia construcción de los conceptos;
- los aciertos y las debilidades de la transposición didáctica que realizan los distintos libros de texto, en cuanto a la lógica de su desarrollo conceptual, la profundidad del abordaje de los conceptos, etc.;

– la potencialidad del ámbito del laboratorio para la elaboración de actividades destinadas a llamar la atención de los alumnos sobre los aspectos experimentales que condicionan el ámbito de validez de ambos modelos, sobre las condiciones de coherencia necesarias para visualizar los patrones de intensidad y sobre el rol del ojo como detector de estos patrones.

REFERENCIAS

- Alonso, M. y Finn, E. (1976). *Física. Volumen II: campos y ondas*. México: Fondo Educativo Interamericano.
- Ambrose, B., Schaffer, P., Steinberg, R., y Mc Dermott, L. (1999). An investigation of student understanding of single-slit diffraction and double-slit interference. *American Journal of Physics*, 67(2), 146–155.
- Ausubel, D. (2000). *Adquisición y retención del conocimiento. Una perspectiva cognitiva*. Barcelona: Paidós.
- Bravo, S. (2016). La experimentación en el aprendizaje de la física. Su incidencia en la construcción de conceptos referidos a la óptica ondulatoria. (Tesis doctoral). UNICEN.
- Bravo, S. y Pesa, M. (2016). Evaluación del aprendizaje de interferencia y difracción de la luz en el laboratorio de física. *Investigações em Ensino de Ciências*, 21(2), 68–104.
- Colin, P. y Viennot, L. (2001). Using two models in optics: Students' difficulties and suggestions for teaching. *Physics Education Research: A Supplement to the American Journal of Physics*, 69(7), 36–44.
- Gribbin, J. (2003). *Historia de la ciencia (1543–2001)*. Barcelona: Crítica.
- Hecht, E. y Zajac, A. (2000). *Óptica*. Estados Unidos: Addison–Wesley Iberoamericana.
- Halliday, D., Resnick, R. y Krane, K. (1998). *Física, Vol. 2*. México: CECSA.
- Landsberg, G. *Óptica*. (1983). Primer Tomo. Traducción al español. Moscú: Mir.
- Pesic, P. (2007). *El cielo en una botella. Historia de la pesquisa sobre el azul del firmamento*. Barcelona: Gedisa.
- Porta, L. y Silva, M. (2003). La investigación cualitativa: El Análisis de Contenido en la investigación educativa. Recuperado de <<http://anthropostudio.com/wp-content/uploads/2015/04/PORTA-Luis-y-SILVA-Miriam-2003.-La-investigaci%C3%B3n-cualitativa.-El-An%C3%A1lisis-de-Contenido-en-la-investigaci%C3%B3n-educativa..pdf>> Septiembre de 2015.
- Schaffer, S. (2011). *Trabajos de Cristal. Ensayos de historia de la ciencia 1650–1900*. Madrid: Marcial Pons.
- Serway R. y Jewett J. (2008). *Física. Volumen II*. México: Cengage Learning.
- Tipler, P. (1996). *Física*. España: Reverté.
- Vergnaud, G. (2013). ¿Por qué la teoría de los campos conceptuales? *Infancia y Aprendizaje*, 36(2), 131–161.
- Wosilait, K., Heron, P., Schaffer, P. y Mc Dermott, L. (1999). Addressing students' difficulties in applying a wave model to the interference and diffraction of light. *Physics Education Research: A supplement to the American Journal of Physics*, 67(7), 5–15.
- Young, H. y Freedman, R. (2013). *Física Universitaria. Vol 2*. México: Pearson.
- Zajonc, A. (1994). *Atrapando la luz. Historia de la luz y de la mente*. Buenos Aires: Andrés Bello.

ANEXO

Tabla I. Secuencia en que desarrollan los contenidos de la óptica.

YOUNG	SERWAY	RESNICK	TIPLER	HECHT	LANDSBERG	ALONSO
<p>Introducción Ec. de Maxwell. Radiación electromagnética. Espectro electromagnético. Definición de luz. Onda electromagnética plana. Diagrama frentes de onda. Diag. clásico de campos E y B perpendiculares. Energía de ondas. Naturaleza y propagación de la luz. <i>*Frentes de ondas y rayos.</i> <i>*Definición de Óptica Geométrica (1°).</i> Reflexión. Refracción. Dispersión.</p> <p>Polarización Filtros. Polarizadores. Polarización por reflexión. Polarización circular. Polarización elíptica. Dispersión de luz por partículas. Ppio. de Huygens Reflexión y Principio de Huygens. Refracción y Principio de Huygens.</p> <p>Óptica Geométrica <i>*Definición de Óptica Geométrica (2°)</i> Reflexión y Refracción en superficies planas. Formación de imágenes. El ojo. Defectos de la visión. Sistemas ópticos.</p>	<p>Introducción Onda electromagnética. Ec. de Maxwell. Espectro electromagnético. Definición de luz. Naturaleza de la luz. <i>* Introducción Histórica (1 pág.)</i> Velocidad de la luz.</p> <p>Óptica Geométrica <i>*Definición de Óptica Geométrica</i> <i>*Frentes de ondas y rayos</i> <i>*Definición de difracción (cualitativa)</i> <i>*Delimitación de óptica geométrica y óptica ondulatoria (d/λ)</i> Reflexión. Refracción. Principio de Huygens. Dispersión en Prismas. Reflexión. Refracción. Formación de imágenes. Espejos planos, esféricos y lentes esféricas. Lentes delgadas. Aberraciones. Cámara fotográfica. El ojo. Lupa simple. Microscopio. Telescopio.</p>	<p>Introducción Ec. de Maxwell. Onda electromagnética. Espectro electromagnético. Definición de luz. Ondas viajeras. Onda plana polarizada linealmente. Diag. clásico de campos E y B perpendiculares. Naturaleza y propagación de la luz. La velocidad de la luz. Velocidad de la luz en materiales.</p> <p>Óptica Geométrica <i>*Delimitación de óptica geométrica y ondulatoria.</i> <i>*Frentes de ondas y rayos.</i> <i>*Difracción (def. cualitativa.)</i> <i>*Límite entre modelos: a/λ</i> Reflexión. Refracción. Formación de imágenes. Espejos planos, esféricos y lentes esféricas. Instrumentos ópticos.</p>	<p>Introducción Onda electromagnética. Ec. de Maxwell. Diag. clásico de campos E y B. Energía de ondas. Espectro electromagnético. Definición de luz. <i>* Introducción Histórica (2 pág.)</i> Velocidad de la luz. Propagación de la luz. <i>*Frentes de ondas y rayos</i> Ppio. de Huygens. Reflexión. Refracción. Dispersión en prismas. Arco iris.</p> <p>Polarización Polarización lineal. Polarización circular. Mecanismos de polarización: absorción, dispersión y reflexión. Polarización por birrefringencia.</p> <p>Óptica Geométrica <i>*Definición de Óptica Geométrica.</i> Espejos planos y esféricos. Lentes delgadas. Diagramas de rayos. Formación de imágenes. Instrumentos ópticos. El ojo. Cámara fotográfica. Microscopio. Anteojos y telescopios.</p>	<p>Introducción <i>* Introducción histórica (11 pág.)</i> Matemática de las ondas. Ec. Maxwell. Diagrama frentes de onda plana. Diag. clásico de campos E y B perpendiculares. Dispersión. Espectro electromagnético. Definición de luz. Propagación de la luz. Reflexión y Refracción: Principio de Huygens. Ley de Snell. <i>*Definición de rayos de luz.</i> Tratamiento electromagnético. Interacción de luz con la materia.</p> <p>Óptica Geométrica <i>*Concepto de difracción.</i> <i>*Delimitación de óptica geométrica y ondulatoria.</i> Lentes y Espejos. Formación de imágenes. Prismas. Sistemas ópticos. El ojo. Microscopio. Lentes gruesas. Aberraciones de las lentes.</p> <p>Superposición de ondas Análisis de Fourier.</p> <p>Polarización Polarización lineal, circular y elíptica. Polarizadores. Dicroísmo. Birrefringencia. Esparcimiento. Polarización por reflexión. Retardadores. Actividad óptica.</p>	<p>Introducción <i>* Introducción histórica (12 pág.)</i> Ecuación de la onda. Ec. Maxwell. Onda electromagnética. Ppio. de superposición. Análisis de Fourier. Onda monocromática. Energía de ondas. <i>*Frentes de ondas y rayos.</i> Polarización. Onda plana polarizada. Conceptos fotométricos.</p> <p>Polarización Polarización por reflexión. Propagación en medios anisótropos. Dicroísmo. Doble refracción. Actividad óptica.</p> <p>Geometría de las ondas <i>*Definición de Óptica Geométrica.</i> Reflexión y Refracción en superficies esféricas. Formación de imágenes. Lentes y trazado de rayos. Instrumentos ópticos. Dispersión por un prisma. Aberración cromática.</p>	<p>Introducción Movimiento ondulatorio. Análisis de Fourier. Tipos de ondas. OE Plana. Diagrama frentes de onda. Diag. clásico de campos E y B perpendiculares. Energía de ondas. Producción y propagación de ondas electromagnéticas. Espectro electromagnético. Definición de luz. Principio de Huygens. Teorema de Malus. <i>*Frentes de ondas y rayos.</i> Reflexión y Refracción de ondas planas y esféricas. Reflexión y Refracción de ondas electromagnéticas.</p>

Tabla II. Secuencia en que desarrollan los contenidos de interferencia y difracción.

YOUNG	SERWAY	RESNICK	TIPLER	HECHT	LANDSBERG	ALONSO
<p>Interferencia *Definición de interferencia. *Definición de óptica física. Principio de superposición. *Fuente coherente y monocromática Interferencia constructiva y destructiva. Posición de máximos de interferencia. *Exp. de Young (no menciona difracción) *Analogía: patrón de interferencia en tanque de agua Interferencia constructiva y destructiva. Intensidad de patrones de interferencia. Interferencia en películas delgadas. Anillos de Newton.</p> <p>Difracción *Definición de difracción Difracción de Fresnel Difracción de Fraunhofer *Difracción y Ppio. de Huygens. Difracción por una ranura. Posición de mínimos. Intensidad de patrones difracción. Ranuras múltiples. Redes de difracción. Resolución de redes.</p>	<p>Interferencia Interferencia de ondas mecánicas. Interferencia luminosa. *Ondas coherentes y monocromáticas *Experiencia de Young (considera difracción) *Analogía: patrón de interferencia en tanque de agua Posición de máximos de interferencia. Intensidad de patrones de interferencia. Diagrama de fasores. Interferencia en películas delgadas. Anillos de Newton.</p> <p>Difracción *Definición de difracción. Difracción por una abertura. Ppio. de Huygens. Posición de mínimos. Intensidad del patrón de una rendija. Difracción en dos rendijas. Intensidad del patrón difracción de dos rendijas Resolución de aberturas. Redes de difracción. Poder resolución de redes de difracción.</p> <p>Polarización Polarización lineal. Polarización por absorción y reflexión. Polarización por reflexión doble. Polarización por dispersión. Actividad óptica.</p>	<p>Interferencia *Definición de interferencia. *Ondas coherentes. Interferencia por dos rendijas *Analogía: patrón de interferencia en tanque de agua. *Experiencia de Young (considera difracción). Posición de máximos de intensidad. Definición de coherencia. Intensidad del patrón de interferencia. Interferencia en películas delgadas.</p> <p>Difracción *Breve síntesis histórica (1pág.) Difracción por una rendija. Intensidad del patrón de difracción. Interferencia y difracción por dos rendijas. Rejillas de difracción. Poder de resolución.</p>	<p>Interferencia y Difracción *Definición de interferencia. *Definición de difracción. Ondas armónicas. Diferencia de fase. *Ondas coherentes. Interferencia en películas delgadas. Anillos de Newton. Interferencia por dos rendijas. *Analogía con difracción en un tanque de agua. Posición de máximos de intensidad con fasores. Interferencia con tres o más fuentes.</p> <p>Difracción por una rendija. Posición de mínimos. Intensidad de la difracción. Interferencia y difracción por dos rendijas. Difracción de Fraunhofer. Difracción de Fresnell. Resolución de redes de difracción.</p>	<p>Interferencia *Definición de interferencia. *Analogía: patrón de interferencia en tanque de agua. Condiciones para la interferencia *Definición de coherencia. Métodos de obtención de ondas coherentes Interferencia con haces múltiples Interferometría</p> <p>Difracción *Definición de difracción. *Analogía con difracción en un tanque de agua. Difracción de Fraunhofer Difracción por una abertura Doble rendija Rendijas múltiples Aberturas rectangular y circular Red de difracción Difracción de Fresnel: aberturas y obstáculos circulares Placas zonales Difracción por una rendija y por un obstáculo Difracción de bordes</p> <p>Óptica de Fourier Transformada de Fourier Aplicaciones ópticas Difracción de Fraunhofer</p> <p>Coherencia Visibilidad Grado de coherencia</p>	<p>Interferencia Ppio. de superposición. Interferencia de dos ondas. * Definición de coherencia. * El ojo como detector. Parámetro de visibilidad. Obtención de ondas coherentes. *Experiencia de Young (considera difracción). Coherencia espacial. El láser. Interferencia de luz polarizada. Longitud de coherencia. Luz parcialmente coherente. Interferencia en láminas delgadas. Anillos de Newton.</p> <p>Difracción Ppio. de Huygens. *Delimitación de Óptica geométrica. Ppio. de Huygens-Fresnel: óptica ondulatoria. *Definición de difracción. Difracción de Fresnel y Fraunhofer. Intensidad de patrones de difracción. Redes difracción.</p> <p>Óptica Geométrica *Definición de. Óp. Geométrica. Reflexión y Refracción en superficies esféricas. Sistemas ópticos. Aberraciones. Difracción en instrumentos ópticos.</p> <p>Polarización Luz polarizada. Birrefringencia. *Interferencia de rayos polarizados: Fresnel y Arago.</p>	<p>Interferencia *Definición de interferencia. Interferencia por dos fuentes puntuales y sincrónicas. *Analogía: patrón de interferencia en tanque de agua. Interferencia por varias fuentes. Interferencia en láminas delgadas. *Definición de coherencia. *Exp. de Young (no menciona difracción. Usa Ppio. Huygens). Interferencia constructiva y destructiva. Intensidad de patrones de interferencia. Interferencia de varias fuentes sincrónicas. Anillos de Newton.</p> <p>Difracción *Definición de difracción. *Analogía con difracción en un tanque de agua. Difracción de Fraunhofer por una rendija. Intensidad del patrón de difracción. Difracción de Fraunhofer. Abertura circular. Intensidad del patrón de difracción. Redes de difracción. Difracción de Fresnell. Zonas de Fresnell. Difusión de ondas.</p>

Tabla III. Delimitación del ámbito de validez de la Óptica Geométrica, y características de la misma.

Texto	Delimitación del ámbito de validez de la Óptica Geométrica	Características
YOUNG	Introduce previamente los conceptos de <i>frentes de onda</i> y <i>rayos</i> cuando aborda la naturaleza y propagación de la luz. “La óptica geométrica es la rama de la óptica en la cual resulta adecuada la descripción con el modelo de rayos. La luz se representa mediante líneas rectas que se desvían en una superficie reflectante o refractante”.	Solo hace referencia a la adecuación del modelo de rayos.
SERWAY	Define previamente conceptos de <i>frentes de onda</i> y <i>rayos</i> al iniciar el estudio de la óptica geométrica. “La óptica geométrica se ocupa de aquellos casos en que es válida la suposición $\lambda \ll d$ y la aproximación por rayos o propagación rectilínea de la luz”.	<p>Criterio cuantitativo: Cuando el tamaño de los objetos es mucho mayor que la longitud de onda de la luz</p> <ul style="list-style-type: none"> – Es válida la aproximación por rayos – Es válida la propagación rectilínea – Se desprecian los efectos de difracción.
RESNICK	Define conceptos de <i>frentes de onda</i> y <i>rayos</i> al iniciar estudio de la óptica geométrica. También considera la difracción en forma cualitativa. “La óptica geométrica trata los casos en que la luz interacciona con objetos cuyo tamaño es mucho mayor de la longitud de onda de la luz”	
TIPLER	Define previamente <i>frentes de onda</i> y <i>rayos</i> , al abordar el Principio de Huygens. “La óptica geométrica se ocupa del estudio de los casos en que la longitud de onda de la luz es muy pequeña comparada con el tamaño de los obstáculos o aberturas que se encuentran a su paso. Se pueden despreciar los efectos de la difracción y en consecuencia es válida la aproximación de rayos y la propagación rectilínea de la luz”.	
ALONSO	Define previamente <i>frentes de onda</i> y <i>rayos</i> al abordar el Principio de Huygens. “La Geometría de las ondas estudia los fenómenos de reflexión y refracción desde el punto de vista geométrico, usando el concepto de rayo como herramienta. Este tratamiento es adecuado en tanto las superficies y otras discontinuidades que encuentre la onda en su propagación sean muy grandes respecto a la longitud de onda”	
HECHT	Define previamente <i>frentes de onda</i> y <i>rayos</i> al abordar el Principio de Huygens. Introduce concepto de difracción al iniciar el desarrollo de la Óptica Geométrica. “La óptica geométrica trata la manipulación controlada de los frentes de onda por medio de la interposición de cuerpos reflectores o refractores, despreciando cualquier efecto de difracción. La difracción es la desviación aparente de la propagación rectilínea que se produce cuando el sistema acepta sólo un segmento del frente de onda. Sus efectos disminuyen cuando λ disminuye en comparación a las dimensiones del sistema óptico”.	
LANDSBERG	Introduce previamente los conceptos de <i>frentes de onda</i> y <i>rayos</i> , al considerar la polarización de las ondas. “La óptica geométrica opera con el concepto de rayos luminosos aislados que se subordinan a las conocidas leyes de refracción y reflexión y que son independientes entre sí...” “El proceso de obtención de un haz infinitamente angosto es imposible a consecuencia de la difracción, por lo que el rayo luminoso es un concepto matemático abstracto y no un ente físico”. “la relación $\phi \approx \lambda/D$ muestra que la desviación angular que viola la propagación rectilínea de la luz puede ser pequeña cuando mayor sea D en relación a λ ”	

Tabla IV. Definición del concepto de interferencia.

Texto	Definición de interferencia	Características
TIPLER YOUNG SERWAY	“Combinación por superposición de dos o más ondas que se encuentran en un punto del espacio, donde la onda resultante en cualquier punto y cualquier instante está regida por el principio de superposición”.	Consideran solo el aspecto operativo como superposición de ondas
ALONSO	“Característica del movimiento ondulatorio, ocurre cuando dos o más movimientos ondulatorios coinciden en el espacio y en el tiempo”.	
RESNICK	“Efecto que se produce cuando ondas idénticas que proceden de dos fuentes se traslapan en un punto en el espacio, dando como resultado una onda combinada cuya intensidad puede ser mayor o menor que la suma de las intensidades de las dos ondas”	Análisis más profundo, considera la intensidad de la radiación resultante, en cada punto del espacio. Involucra implícitamente el concepto de coherencia
HECHT	“Interacción de dos o más ondas de luz que producen una irradiancia resultante, la cual se desvía de la suma de las irradiancias componentes”.	
LANDSBERG	“Se produce interferencia de ondas cuando al actuar conjuntamente, la intensidad de la onda resultante no es un valor constante igual a la suma de intensidades de cada una de ellas, sino que puede ser mayor o menor, dependiendo de la diferencia de fases”.	

Tabla V. Definición del concepto de difracción.

Autor	Definición de difracción	Características
SERWAY	“Fenómeno que ocurre cuando la luz que atraviesa una rendija angosta, comparable a la longitud de onda de la luz, se esparce en regiones que quedarían en la sombra si la luz se desplazara en línea recta. Se observa un patrón de difracción formado por zonas iluminadas y zonas oscuras, similar a lo que ocurre con un patrón de interferencia”.	Esparcimiento de la luz, formando un patrón de zonas iluminadas y oscuras.
RESNICK	“Desviación hacia una nueva dirección de las ondas que encuentran un objeto (barrera o abertura) en su camino, cuyo tamaño es del mismo orden de magnitud que la longitud de onda. En esa región se observa un patrón de difracción formado por zonas iluminadas y zonas oscuras”.	
YOUNG	“Efectos de la interferencia debidos a la combinación de muchas ondas luminosas. Cada parte infinitesimal de una abertura actúa como una fuente de ondas y el patrón resultante de luz y oscuridad es producto de la interferencia entre las ondas que proceden de estas fuente”.	La difracción es el producto de la interferencia de muchas ondas que provienen de cada parte infinitesimal de una abertura.
HECHT	“Fenómeno que ocurre cuando se altera una región del frente de onda, en amplitud o fase, al encontrarse con un obstáculo transparente u opaco. Los segmentos del frente de onda que se propagan más allá del obstáculo interfieren produciendo una particular distribución de densidad de energía conocida como patrón de difracción. No hay distinción física significativa entre interferencia y difracción”.	
LANDSBERG	“La difracción se refiere a los fenómenos de contorno de los impedimentos tales como pantallas y bordes de diafragmas. Se producen cuando una parte del frente de onda viajera interrumpe su acción a consecuencia de que la luz se propaga entre obstáculos que tapan parte del frente de onda”.	Hacen referencia a la alteración del frente de onda por la presencia de obstáculos en la propagación del mismo.
TIPLER	“Desviación que sufren las ondas alrededor de los bordes o esquinas, que se produce cuando una porción de un frente de ondas se ve cortado o interrumpido por una barrera u obstáculo”.	
ALONSO	“La difracción se observa cuando se distorsiona una onda por un obstáculo cuyas dimensiones son comparables a la longitud de onda de aquella. Se puede impedir el paso de una pequeña porción de la onda con un obstáculo, o se puede dejar pasar una pequeña porción de la onda a través de pequeños orificios o ranuras”.	