

# The Optics in Physics textbooks

## La Óptica en los libros de texto de Física

E. Álvarez-Jubete<sup>1</sup>, I. Hevia<sup>2\*</sup> and L. Toffolatti<sup>3</sup>

1. IES Doctor Fleming, Calle Doctor Fleming 7, CP 33005 Oviedo, España

2. Dpto. Ciencias de la Educación, Facultad de Formación del Profesorado y Educación, Universidad de Oviedo, Calle Aniceto Sela s/n, CP 33005, Oviedo, España

3. Departamento de Física, Facultad de Ciencias, Universidad de Oviedo, Calle Federico García Lorca 18, CP 33007, Oviedo, España

\*E-mail: [hevaisabel@uniovi.es](mailto:hevaisabel@uniovi.es)

S: miembro de SEDOPTICA / SEDOPTICA member

Received: 16/04/2021

Accepted: 29/05/2021

DOI: 10.7149/OPA.54.2.51061

### ABSTRACT:

This article aims to know and analyze if the textbooks of Physics 2nd Baccalaureate collect, and to what extent, decisive issues for a constructive learning of the Optics. This is an essential topic in the curriculum of this educational stage. From a qualitative methodology, content analysis has been used for the review of thirteen textbooks according to three blocks of indicators related to: a) Kepler's vision model; b) the history of optics; and c) obstacles that may impede the understanding of basic concepts by students. We have found that the analyzed texts offer an empiricist treatment of optical phenomena and do not take into account the historical review for the identification of possible obstacles that students may encounter for their learning.

**Key words:** Textbooks; optics; physics; didactic resources

### RESUMEN:

Este artículo tiene como finalidad conocer y analizar si los libros de texto de Física de 2º de Bachillerato recogen, y en qué medida, cuestiones decisivas para un aprendizaje constructivo de la Óptica, siendo este un tema esencial en el currículo de esta etapa educativa. Desde una metodología cualitativa, se ha empleado el análisis de contenido para la revisión de trece libros de texto de acuerdo con tres bloques compuestos por 25 indicadores relacionados con: a) el modelo de visión de Kepler; b) la historia de la óptica; y c) los obstáculos en la comprensión de los conceptos básicos por parte de los estudiantes. Hemos constatado que los textos analizados ofrecen un tratamiento empirista de los fenómenos ópticos y no tienen en cuenta la revisión histórica para la identificación de posibles obstáculos que puede encontrar el alumnado para su aprendizaje.

**Palabras clave:** Libros de texto; óptica; física; recursos didácticos

### REFERENCES AND LINKS / REFERENCIAS Y ENLACES

- [1] M. E. Caixeta, P. Souza, "Critérios que professores de química apontam como orientadores da escolha do livro didático," *Ensaio. Pesquisa Educação em Ciências* **12**, 121-135 (2010).
- [2] A. Escolano, *Historia ilustrada del libro escolar en España. Del Antiguo Régimen a la Segunda República*, Fundación Germán Sánchez Ruipérez (1997).
- [3] M. Occelli, N. Valeiras, "Los libros de texto de ciencias como objeto de investigación: Una revisión bibliográfica," *Enseñanza de las ciencias* **31**, 133-152 (2013).
- [4] M. P. Fernández, P. Caballero, "El libro de texto como objeto de estudio y recurso didáctico para el aprendizaje: fortalezas y debilidades," *Revista Electrónica Interuniversitaria De Formación Del Profesorado* **20**, 201-217 (2017).
- [5] J. M. Álvarez, *Entender la Didáctica, entender el Currículum*, Miño y Dávila (2001).
- [6] R. Gomes Abreu, M. M. Gomes, A. C. Lopes, "Contextualização e tecnologias em livros didáticos de Biologia e Química," *Investigações em Ensino de Ciências* **10**, 405-417 (2005).
- [7] G. Braga, J. L. Belver, "El análisis de libros de texto: una estrategia metodológica en la formación de los profesionales de la educación," *Revista Complutense de Educación* **27**, 199-218 (2015).



- [8] J. J. García-García, F. J. Perales, “¿Comprenden los estudiantes las gráficas cartesianas usadas en los textos de ciencias?,” *Enseñanza de las Ciencias* **25**, 107-132 (2007).
- [9] R. Palacios-Díaz, A. M. Criado, “Lo que no dicen los libros españoles de texto de educación secundaria obligatoria sobre la masa, el volumen y la densidad,” *Enseñanza de las Ciencias* **35**, 51-70 (2017).
- [10] A. Kahveci, “Quantitative Analysis of Science and Chemistry Textbooks for Indicators of Reform: A complementary perspective,” *International Journal of Science Education* **32**, 1495-1519 (2010).
- [11] L. Stern, J. E. Roseman, “Can Middle-School Science Textbooks Help Students Learn Important Ideas? Findings from Project 2061’s Curriculum Evaluation Study: Life Science,” *Journal of Research in Science Teaching* **41**, 538-568 (2004).
- [12] E. Knain, “Ideologies in school science textbooks,” *International Journal of Science Education* **23**, 319-329 (2001).
- [13] M. Van Eijck, W. Roth, “Representations of scientists in Canadian high school and college textbooks,” *Journal of Research in Science Teaching* **45**, 1059-1082 (2008).
- [14] I. C. Binns, R. L. Bell, “Representation of scientific methodology in secondary science textbooks,” *Science & Education* **24**, 913-936 (2015).
- [15] L. Álvarez-Pérez, J. A. González-Pineda, “La diversidad en la práctica educativa. Proceso para diseñar adaptaciones curriculares,” *Aula Abierta* **69**, 23-41 (1997).
- [16] Real Decreto 1105/2014, de 26 de diciembre, por el que se establece el currículo básico de la Educación Secundaria Obligatoria y del Bachillerato. *Boletín Oficial del Estado*, 3 de enero de 2015, núm. 3, pp. 169-546.
- [17] R. Verdú, J. Martínez-Torregrosa (2004), “La estructura problematizada de los temas y cursos de física y química como instrumento de mejora de su enseñanza y aprendizaje,” Disponible en:
- [18] E. Álvarez, I. Hevia, “Trabajo por proyectos: estudio de la Óptica en 2º de Bachillerato,” in *INNODOCT/17. International Conference on Innovation, Documentation and Education*, (2017).
- [19] L. Osuna, J. Martínez-Torregrosa, (2005), “La enseñanza de la luz y la visión con una estructura problematizada: propuesta de secuencia y puesta a prueba de su validez,” Disponible en:
- [20] L. Osuna, J. Martínez-Torregrosa, J. Carrascosa, R. Verdú, “Planificando la enseñanza problematizada: el ejemplo de la óptica geométrica en educación secundaria,” *Enseñanza de las Ciencias* **25**, 277-294 (2007).
- [21] L. Osuna, J. Martínez-Torregrosa, M. A. Menargues, “Evaluación de la enseñanza problematizada sobre la luz y la visión den la Educación Secundaria obligatoria,” *Enseñanza de las Ciencias* **30**, 295-317 (2012)
- [22] J. E. Roseman, G. Kulm, S. Shuttleworth, “Putting textbooks to the test,” *ENC Focus* **8**, 56-59 (2001).
- [23] L. Osuna, J. Martínez-Torregrosa, y J. Carrascosa, ¿Cómo vemos? ¿Cómo podemos ver mejor?. Secuencia problematizada de actividades para el aula con comentarios para el profesor, (2008)
- [24] J. Kepler, *Les fondaments de l’optique moderne. Paralipomènes a Vitellion*, Vrin (1604).
- [25] E. Saltiel, L. Viennot, “¿Qué aprendemos de las semejanzas entre las ideas históricas y el razonamiento espontáneo de los estudiantes?,” *Enseñanza de las Ciencias* **3**, 137-144 (1985).
- [26] M. Área (2009), “Introducción a la tecnología educativa,” Disponible en:
- [27] J. Martínez-Bonafé, J. Rodríguez-Rodríguez, “El currículum y el libro de texto. Una dialéctica siempre abierta,” en *Saberes e incertidumbres sobre el currículum* (2010).
- [28] L. Moreno, M. A. Calvo, “La historia de la química en el currículo de ESO y de bachillerato (LOE). Una revisión interdisciplinar para la investigación didáctica,” *Enseñanza de las Ciencias* **35**, 147-160 (2017).
- [29] M. Niaz, S. Klassen, B. McMillan, D. Metz, “Reconstruction of the history of the photoelectric effect and its implications for general physics textbooks,” *Science Education* **94**, 903-931 (2010).
- [30] M. A. Rodríguez, M. Niaz, “A Reconstruction of Structure of the Atom and its Implications for General Physics Textbooks: A History and Philosophy of Science Perspective,” *Journal of Science Education and Technology* **13**, 409-424 (2004).
- [31] E. Sales, O. Freire, I. E. Greca, “La enseñanza de la gravitación universal de Newton orientada por la historia y la filosofía de la ciencia: una propuesta didáctica con un enfoque en la argumentación,” *Enseñanza de las Ciencias* **33**, 205-223 (2015).
- [32] L. Maurines, “Geometrical Reasoning in Wave Situations: The case of light diffraction and coherent illumination optical imaging,” *International Journal of Science Education* **32**, 1895-1926 (2010).
- [33] P. Colin, L. Viennot, “Using two models in optics: Students’ difficulties and suggestions for teaching,” *Physics Education Research: A Supplement to the American Journal of Physics* **69**, 36-44 (2001).
- [34] S. Bravo, M. Pesa, “El aprendizaje de los fenómenos de interferencia luminosa,” in *Actas VIII Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências* (2012).
- [35] I. Galili, “Teaching Optics: A Historic-Philosophical Perspective”. In Matthews M. (ed.). *International Handbook of Research in History. Philosophy and Science Teaching*. Dordrecht, Springer, 97-108, (2014).

## 1. Introducción

Los libros de texto tienen una gran presencia en el proceso educativo, el 99% del profesorado utiliza estos manuales en sus aulas, convirtiéndose así en la fuente principal de información disponible para el estudiante [1]. Desde su origen, el libro escolar se ha desarrollado como producto editorial peculiar y diferenciado en el que se materializa el currículo en todas sus dimensiones [2]. Estos recursos educativos, con frecuencia, se encuentran en el centro de la controversia, al ser un producto de una red de conexiones culturales, económicas y políticas que conforman un cuerpo de conocimientos legitimado para ser utilizado por los profesores en sus aulas, representando la cultura y el conocimiento generalmente aceptados [3,4]. En esta línea, Álvarez-Méndez [5] sostiene que “los libros de texto son herramientas pedagógicas destinadas al aprendizaje que imponen una determinada distribución y jerarquización de ideas, a partir de una transformación y recreación del conocimiento epistémico”. Por tanto, estos materiales educativos pueden llegar a modificar el propio currículo, ya que reinterpretan y crean nuevos “sentidos” [6]. En este sentido, Braga y Berver [7] insisten en que el libro de texto selecciona y representa el universo científico y cultural que se pretende enseñar al alumnado reflejando los valores, estereotipos e ideologías de una determinada sociedad, se nos ofrece una imagen de la ciencia como algo acabado en la que no existe la controversia.

Nuestro estudio se centra en los libros de texto de Ciencias, concretamente los de Física. Investigaciones realizadas sobre estos manuales señalan que estos presentan deficiencias que podrían ser la causa de los conceptos alternativos que tienen tanto docentes como estudiantes sobre los contenidos de estudio [8,9]. En los libros de texto de Física se ha identificado que los contenidos se presentan con numerosas inexactitudes o errores conceptuales y desarrollos reduccionistas [9]. Además, contienen una gran cantidad de terminología científica específica y con deficientes explicaciones de las ideas clave [3]. Estos materiales muestran a menudo un tratamiento superficial de los conceptos básicos, con definiciones operativas, pero sin explicaciones conceptuales profundas, lo que no permite que los estudiantes comprendan los fenómenos expuestos [10]. Además, tal y como evidencian Stern y Roseman [11], muy pocos textos de Física tienen en cuenta las ideas previas del alumnado. Por otro lado, en España los textos de Física, al igual que sucede en otros países [12,13], no suelen tener en consideración el contexto histórico y social en el que se desarrollan las teorías científicas. Binns y Bell [14] muestran que la mayoría de los textos presentan el “método científico” como la metodología científica básica; de este modo los estudiantes no comprenden la riqueza y complejidad de la construcción de conocimiento en la Ciencia. En general, estos manuales ofrecen argumentaciones sin posibilidades de discusión, sin explicar los conflictos que suponen los cambios de modelos, trasladando una imagen de la ciencia como acumulación de conocimientos [15].

Dentro del estudio de la Física, centramos nuestra investigación en los manuales de Física de 2º de Bachillerato, concretamente de cómo estos abordan el tema de la Óptica, puesto que la Óptica es un contenido fundamental de este nivel educativo. De los 6 Bloques que componen el currículo de Física de 2º de Bachillerato [16], encontramos que gran parte del Bloque 4 se dedica a la óptica ondulatoria y el Bloque 5 en su totalidad aborda la óptica geométrica. Dada la importancia de estos contenidos en el currículo, consideramos necesaria una correcta planificación didáctica de los mismos, que huya del aprendizaje memorístico presente en muchas prácticas educativas, basadas en un planteamiento descontextualizado de los contenidos de estudio. La finalidad de este estudio es comprobar si los libros de texto utilizan la historia de la ciencia para estructurar el tema de la Óptica, estableciendo las metas parciales que los alumnos han de superar para llegar a la comprensión del proceso de visión y de la naturaleza ondulatoria de la luz y si, por otra parte, contemplan los obstáculos que pueden encontrar los alumnos y que les impedirán conseguir dichas metas [17]. Además, hemos querido saber cómo es tratado este tema a lo largo del tiempo a fin de constatar si se produce o no una revisión del conocimiento curricular [7]. Para ello, hemos seleccionado libros de texto editados bajo la Ley Orgánica de Educación (LOE) y otros publicados bajo la Ley Orgánica para la Mejora de la Calidad Educativa (LOMCE).

## 2. Metodología

En este trabajo se ha empleado una metodología de carácter cualitativo, recurriéndose al análisis de contenido para el estudio de las nociones relativas a la óptica, presentes en trece libros de textos de Física de 2º de Bachillerato. Con la finalidad de poder contar con indicadores de análisis concretos, se ha realizado un estudio previo acerca de los obstáculos que dificultan la comprensión de la Óptica [18], en base a los estándares de aprendizaje del currículo establecido por la LOMCE [16], además de realizar una extensa revisión bibliográfica sobre la enseñanza de la Óptica. Ambos análisis han constatado que, para superar los estándares de aprendizaje correspondientes a la Óptica Geométrica establecidos en el currículo, los

alumnos han de apropiarse funcionalmente de un modelo que explique cómo se forman las imágenes. El modelo histórico más sencillo, coherente y con suficiente poder explicativo, es el modelo de visión desarrollado por Johannes Kepler (1571-1630), base del currículo de la óptica de bachillerato, siendo este el modelo más adecuado para una comprensión elemental de la formación de la imagen percibida por el ojo humano [19,20,21]. Como resultado de este estudio previo, se han diferenciado tres bloques de contenidos con un total de 25 indicadores de respuesta dicotómica que se recogen en una ficha de análisis en donde se señala la presencia o ausencia de estos en el manual analizado. La Tabla 1 recoge los indicadores analizados.

TABLA 1. Bloques e indicadores de análisis

BLOQUES	INDICADORES
BLOQUE I: ORGANIZACIÓN DEL ESTUDIO DE LA ÓPTICA	1.1. Se organiza como ciencia de la visión 1.2. El tema se plantea de manera empirista 1.3. Se explica la óptica geométrica en relación con la naturaleza ondulatoria de la luz 1.4. Las leyes de la óptica geométrica se explican en relación con la visión 1.5. Las leyes de la óptica ondulatoria se explican con relación a la naturaleza de la luz 1.6. Considera la propagación rectilínea, la reflexión o refracción de la luz como hipótesis para explicar la visión 1.7. Se plantea el estudio de la propagación rectilínea, la reflexión y la refracción de la luz de manera empirista 1.8. Se plantean los límites de aplicación de la óptica geométrica para explicar la visión
BLOQUE II: TRATAMIENTO HISTÓRICO DEL TEMA	2.1. Se ofrecen lecturas históricas del tema 2.2. A qué hacen referencia las lecturas históricas 2.3. Se realiza una revisión histórica para plantear los problemas relacionados con el tema 2.4. Se realiza una revisión histórica para plantear el índice del problema 2.5. Se realiza una revisión histórica para sacar a la luz los grandes obstáculos que se han superado
BLOQUE III: ATENCIÓN A LOS OBSTÁCULOS QUE PUEDEN IMPEDIR LA COMPREENSIÓN DE LOS CONCEPTOS BÁSICOS	3.1. Trata a los objetos iluminados como conjuntos de puntos emisores de luz en todas las direcciones 3.2. Explica correctamente el concepto de haz de luz 3.3. Explica correctamente el concepto de rayo de luz 3.4. Se señala expresamente que la luz no se ve 3.5. Considera al ojo como parte del sistema óptico al mirar a: a) espejos planos y esféricos; b) un objeto sumergido en agua; y c) la imagen formada por lentes convergentes y divergentes 3.6. Elabora un modelo simplificado de ojo (lente-pantalla) para introducir el concepto de imagen óptica 3.7. Forma la imagen a partir de haces de luz emitidos por cada punto-objeto, al mirar: a) espejos planos y esféricos; b) un objeto sumergido en agua; y c) la imagen formada por lentes convergentes y divergentes 3.8. Señala explícitamente la importancia del principio de Huygens-Fresnel para la aceptación del modelo ondulatorio 3.9. Explica la producción de ondas electromagnéticas 3.10. Narra el experimento de Hertz 3.11. Introduce el concepto de campo como un mero medio de calcular la fuerza 3.12. Llega el campo a adquirir verdadero significado físico que evita la acción a distancia convirtiéndola en una acción local entre la partícula y el campo existente en dicho punto

Basándonos en la idea de que los libros de texto deben ayudar a los estudiantes a una comprensión razonada de las ideas claves de la materia [22], planteamos un Bloque I en donde se aborda si los libros plantean el estudio de la óptica como la búsqueda de un modelo que explique la visión humana, tal y como sucedió históricamente. Este bloque está compuesto por 8 indicadores necesarios para detectar si la óptica se organiza como ciencia de la visión o de manera empirista; si las leyes de la óptica geométrica se explican en relación con la visión o como consecuencia de la naturaleza ondulatoria de la luz; y finalmente, si se plantean los límites de la óptica geométrica para explicar la visión. Este bloque se relaciona con el modelo de Kepler [24], según el cual la formación de imágenes se explicaría mediante el “haz de luz”, siendo los rayos solamente elementos direccionales sin entidad real. El modelo de Kepler es el modelo más sencillo con suficiente entidad para explicar la óptica geométrica en la ESO y también en Bachillerato. Por tanto, el concepto de “haz de luz” resulta clave para la comprensión de la óptica geométrica. Bajo este modelo, también nos encontramos con el concepto de “rayo”, también elemental para la comprensión del mecanismo de la visión. Es por lo que, en nuestro análisis, se ha tratado de identificar si los textos presentan la óptica como ciencia de la visión, con los conceptos de “haz de luz”, “rayo de luz” e “imagen óptica” como vertebradores del tema.

Ahondando en la necesidad de transmitir el método científico, el Bloque II analiza el tratamiento histórico que hacen los textos de la óptica. En este caso nos encontramos con 5 indicadores que han sido elaborados con la intención de mostrar si los textos tienen en cuenta la historia de la ciencia a la hora de estructurar el tema de la óptica, pues aun siendo los contextos epistemológicos y culturales diferentes e incomparables [24], conocer las dificultades que tuvieron que afrontar los científicos para la construcción del conocimiento, y los obstáculos epistemológicos involucrados, nos será de gran ayuda para detectar las dificultades que pueden encontrar los estudiantes en la asimilación de contenidos. Se ha decidido incluir este bloque puesto que la explicación de cualquier fenómeno ha de buscarse en su propia génesis y, tal como han evidenciado diferentes investigaciones [20] la enseñanza de la historia de la ciencia influye de manera positiva en las actitudes del alumnado hacia la ciencia, así como en su comprensión de las ideas científicas. Por ello, en esta investigación se busca comprobar si los libros de texto utilizan la historia de la ciencia para estructurar el tema de la óptica.

Finalmente, el Bloque III está compuesto por 12 indicadores, necesarios para estudiar si se tienen en cuenta los obstáculos que consideramos clave para comprender el modelo de visión de Kepler y el modelo ondulatorio de la luz. Como han evidenciado diferentes investigaciones, los libros de texto, en concreto los matemáticos o científicos, presentan deficiencias que pueden suponer un obstáculo para el aprendizaje. Obtener información acerca de estos obstáculos permitirá generar oportunidades para que puedan ser trabajados en el aula con el alumnado a fin de superarlos. En la enseñanza de la óptica, investigaciones como las de Osuna [20] han evidenciado los posibles obstáculos que encuentra el alumnado de educación secundaria para comprender como vemos. Obstáculos como: a) Creer que no es necesario que llegue luz al ojo para ver; b) No pensar que de los objetos iluminados sale luz; c) No considerar a la luz como una entidad independiente que viaja en el espacio; d) Creer que el rayo de luz es lo que se ve por ejemplo por los agujeritos de las persianas; e) No utilizar haces divergentes de luz procedentes de cada punto de la fuente, para explicar la formación de sombra e imágenes; f) Creer que la imagen es “algo” que se traslada entera; g) Creer que la imagen tiene existencia real independientemente del sistema ojo-cerebro; y h) No comprender la formación de la imagen utilizando una lente convergente o un espejo. En relación con los obstáculos relativos a la apropiación del modelo ondulatorio de la luz solemos encontrarlos que el alumnado: a) No considera los modelos y teorías científicas como algo en continua construcción, desconocen la existencia de dichos límites; b) No consideran la luz como una entidad física, heterogénea e inmaterial; c) No comprenden las características propias de la naturaleza de la luz tan alejadas de la percepción humana; d) No comprenden los fenómenos básicos de los fenómenos ondulatorios; e) No comprenden la naturaleza electromagnética de la luz; f) No consiguen explicar correctamente el color; g) No utilizan el modelo ondulatorio para explicar fenómenos que se habían explicado con el modelo geométrico. A través de este bloque pretendemos identificar si estas percepciones están ocasionadas, entre otros aspectos, por cómo los libros de texto de bachillerato tratan este tema.

La ficha de análisis es validada a través de dos expertos del ámbito universitario procedentes de las dos áreas de conocimiento implicadas en el estudio: la Física y la Didáctica. Además, se ha realizado una prueba piloto con dos de los manuales a fin de mejorar el sistema de indicadores y poder garantizar un instrumento de recogida de información eficaz. En este proceso se comprobó que los tres Bloques abarcasen los aspectos fundamentales que los textos deberían atender para contribuir a un aprendizaje significativo de la óptica.

Para llevar a cabo los objetivos de investigación se han revisado 13 libros de texto de Física de segundo curso de Bachillerato pertenecientes a 11 editoriales diferentes: 8 editados bajo las directrices de la LOE y 5 manuales actualizados tras la LOMCE. La elección de los libros de texto obedece, por un lado, a la identificación de las editoriales de mayor difusión en el ámbito y, por otro, al conocimiento profundo de los mismos por parte de la primera autora de esta comunicación que, a lo largo de estos años, ha ido alternando diferentes editoriales en el ejercicio de su práctica docente. En la Tabla 2 se recogen los datos de identificación de los libros de texto analizados.

TABLA 2. Muestra de libros de texto analizados de 2º curso de Bachillerato de Física

Ley Educativa	Editorial	Año de edición	ISBN	Código
LOE	ANAYA	2009	978-84-698-1287-7	LOE-AN
	CASALS	2009	978-84-218-4035-1	LOE-CA
	BRUÑO	2009	978-84-216-6449-0	LOE-BR
	ECIR	2003	978-84-9826-476-0	LOE-EC
	EDEBE	2009	978-84-2369-283-5	LOE-ED
	EVEREST	2009	978-84-2417-564-1	LOE-EV
	Mc GRAW HILL	2009	978-84-4817-027-1	LOE-MG
	VICENS VIVES	2009	978-84-6823-586-8	LOE-VI
LOMCE	EDELVIVES	2016	978-84-1400-342-8	LOM-ED
	Mc GRAW HILL	2016	978-84-486-0992-4	LOM-MG
	OXFORD	2016	978-01-905-0258-4	LOM-OX
	SANTILLANA	2016	978-84-680-2678-7	LOM-SA
	VICENS VIVES	2016	978-84-682-3586-8	LOM-VV

Dentro de la perspectiva cualitativa, se ha escogido el análisis de contenido como técnica para la recogida de datos, lo que implica descomponer cada texto en unidades de información según los ítems de estudio, clasificarlos y tabularlos. Para poder elegir si asignamos un “Sí” o un “No” a un ítem determinado, se identifica el contenido del texto para cada uno de los indicadores y se compara con la respuesta que consideramos adecuada según un modelo de enseñanza problematizada de la luz y la visión basado en el modelo de visión de Kepler y en el modelo ondulatorio de la naturaleza de la luz. Para ello, nos fundamentamos en estudios previos que han evidenciado la relevancia didáctica de dicho modelo en la Educación Secundaria Obligatoria (ESO) [20] así como demostrado que su aplicación en el aula produce mejoras en los niveles de comprensión del modelo de visión de Kepler [21]. En este primer análisis, nos centramos únicamente en los contenidos presentes en los libros de texto, postergando para otros análisis futuros la calidad didáctica de las imágenes y su relación con los mensajes textuales, así como las implicaciones metodológicas.

### 3. Resultados

En la exposición de resultados se realiza una síntesis organizada de algunos de los indicadores analizados en los libros de texto. La tabla 3 recoge un análisis más detallado que concreta los resultados para cada uno de los bloques de análisis planteados.

TABLA 3. Bloques e indicadores de análisis

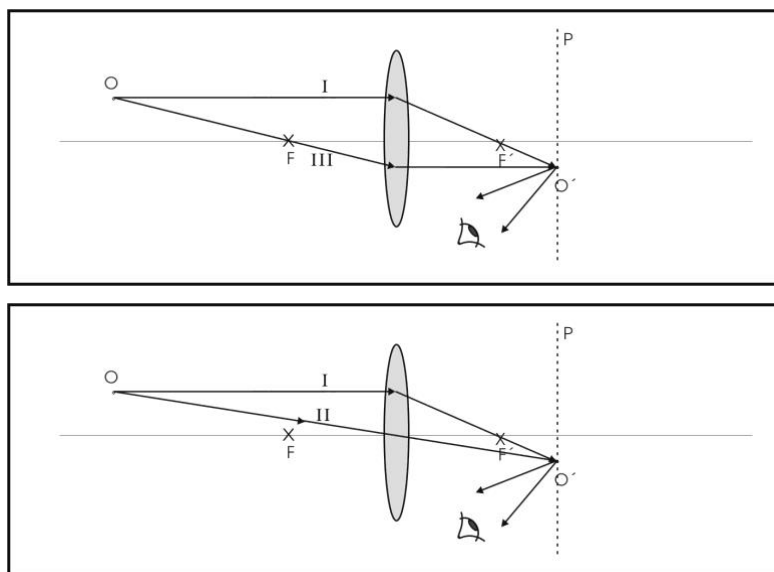
BLOQUES	INDICADORES	Sí	No
BLOQUE I: ORGANIZACIÓN DEL ESTUDIO DE LA ÓPTICA	1.1. Se organiza como ciencia de la visión	0	13
	1.2. El tema se organiza de manera empirista	13	0
	1.3. Se explica la óptica geométrica con relación a la naturaleza ondulatoria de la luz	0	13
	1.4. Las leyes de la óptica geométrica se explican con relación a la visión	1	13
	1.5. Las leyes de la óptica ondulatoria se explican con relación a la naturaleza de la luz	3	10
	1.6. Se considera la propagación rectilínea, la reflexión o refracción de la luz como hipótesis para explicar la visión	0	13
	1.7. Se plantea el estudio de la propagación rectilínea, la reflexión y la refracción de la luz de manera empirista	13	0
	1.8. Se plantean los límites de aplicación de la óptica geométrica para explicar la visión	1	12
BLOQUE II: TRATAMIENTO HISTÓRICO DEL TEMA	2.1. Se ofrecen lecturas históricas del tema	0	13
	2.2. A qué hacen referencia las lecturas históricas	0	13
	2.3. Se realiza una revisión histórica para plantear los problemas relacionados con el tema	0	13
	2.4. Se realiza una revisión histórica para plantear el índice del problema	0	13
	2.5. Se realiza una revisión histórica para sacar a la luz los grandes obstáculos que se han superado	0	13
BLOQUE III: ATENCIÓN A LOS OBSTÁCULOS QUE PUEDEN IMPEDIR LA COMPREENSIÓN DE LOS CONCEPTOS BÁSICOS	3.1. Trata a los objetos iluminados como conjuntos de puntos emisores de luz en todas las direcciones	0	13
	3.2. Explica correctamente el concepto de haz de luz	0	13
	3.3. Explica correctamente el concepto de rayo de luz	1	12
	3.4. Se señala expresamente que la luz no se ve	1	12
	3.5. Considera al ojo como parte del sistema óptico al mirar a:		
	a) espejos planos y esféricos;	9	4
	b) un objeto sumergido en agua;	6	7
	c) la imagen formada por lentes convergentes y divergentes	1	12
	3.6. Elabora un modelo simplificado de ojo (lente-pantalla) para introducir el concepto de imagen óptica	0	13
	3.7. Forma la imagen a partir de haces de luz emitidos por cada punto-objeto, al mirar:		
	a) espejos planos y esféricos;	6	7
	b) un objeto sumergido en agua;	0	13
c) la imagen formada por lentes convergentes y divergentes	0	13	
3.8. Señala explícitamente la importancia del principio de Huygens-Fresnel para la aceptación del modelo ondulatorio	0	13	
3.9. Explica la producción de ondas electromagnéticas	1	12	
3.10. Narra el experimento de Hertz	1	12	
3.11. Introduce el concepto de campo como un mero medio de calcular la fuerza	13	0	
3.12. Llega el campo a adquirir verdadero significado físico que evita la acción a distancia convirtiéndola en una acción local entre la partícula y el campo existente en dicho punto	0	13	

Un primer análisis nos permite constatar que ninguno de los libros analizados organiza la enseñanza de la óptica como ciencia de la visión, ni relaciona las leyes de la óptica con la visión, ambos aspectos clave para comprender el tema. En general, proponen una enseñanza empirista, sin considerar la propagación

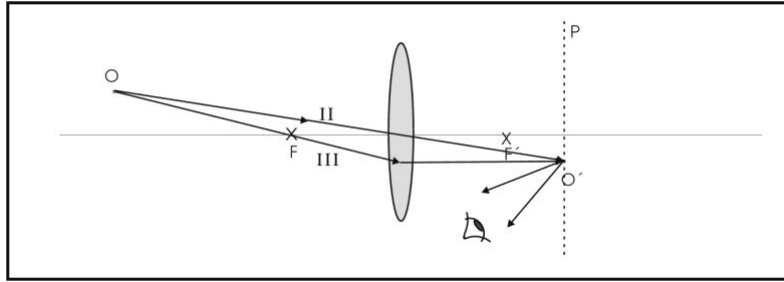
rectilínea, la reflexión o refracción de la luz como hipótesis para explicar la visión. En ningún caso se plantean los límites de aplicación de la óptica geométrica para explicar la visión, es más, tan sólo un libro plantea los límites de aplicación de la óptica geométrica. Por otro lado, constatamos que en los libros estudiados no se ofrecen lecturas de las obras cumbre de la óptica, sino que suelen proponerse resúmenes de las teorías corpuscular y ondulatoria. En ningún caso la revisión histórica que proponen los libros de texto sirve para plantear los problemas relacionados con la óptica, ni para sacar a la luz los grandes obstáculos que se han tenido que superar para llegar a las teorías actuales.

En cuanto a las dificultades que pueden impedir a los estudiantes comprender los conceptos básicos, destacamos que ninguno de los libros analizados explica el concepto clave para la óptica geométrica de “haz de luz” y solamente el texto LOM-OX explica correctamente el concepto de “rayo de luz”, haciendo hincapié en que el rayo de luz es una construcción matemática. Por su parte, el texto LOE-EC es el único que señala expresamente que la luz no se ve. Ningún manual elabora un modelo simplificado de ojo (lente-pantalla) para introducir el concepto de imagen óptica y solamente un texto considera al ojo como parte del sistema óptico al analizar la imagen formada por lentes convergentes y divergentes. Ninguno de los libros analizados forma la imagen a partir de haces de luz emitidos por cada punto del objeto, al mirar a espejos planos y esféricos, objetos sumergidos en agua o a través de lentes convergentes y divergentes. Osuna, Martínez-Torregrosa y Carrascosa [23], en sus trabajos sobre la planificación de la enseñanza problematizada en las ciencias, presentan una secuencia de actividades que demuestran que es posible trabajar estos contenidos con alumnado de secundaria. Para ello, deben plantearse actividades que familiaricen al alumnado con los trazos gráficos de formación de la imagen óptica en el sistema lente-pantalla. Se les puede solicitar utilizar los elementos característicos de la lente: foco objeto (F), foco imagen (F'), centro óptico (C) y eje óptico y, a través de trazados gráficos (Ilustración 1), localizar la posición de la pantalla donde se ve la imagen del objeto en los siguientes casos: a) Objeto alejado; b) Objeto cercano; c) Objeto entre el foco y la lente; y d) Objeto extenso (ver Ilustración 1). Durante el desarrollo de la actividad se debe recordar al alumnado que los trazados gráficos están basados en el comportamiento de la luz y que, si situamos una fuente puntual de luz en el foco de la lente, la imagen se forma en el infinito (o en nuestro caso muy lejos). Esta propiedad servirá para identificar el rayo III. Para trazar el Rayo I se indicará que, si situamos un objeto muy lejos de la lente, su imagen se formará en el foco. El rayo II es deducido de la geometría del rayo I y III. En el caso d), debe recordarse al alumnado que las fuentes extensas las tratamos como si fueran un conjunto de fuentes puntuales. Escogemos ambos extremos y realizamos el trazado gráfico para cada uno de ellos (destacando el hecho de que la imagen que se forma es invertida). Por tanto, para encontrar la imagen de un objeto podemos utilizar dos de los tres rayos que conocemos. Siempre recordando que el rayo en sí mismo no significa nada, que simplemente delimita el haz de luz que seleccionamos.

ILUSTRACIÓN 1: trazos gráficos de formación de la imagen óptica en el sistema lente-pantalla

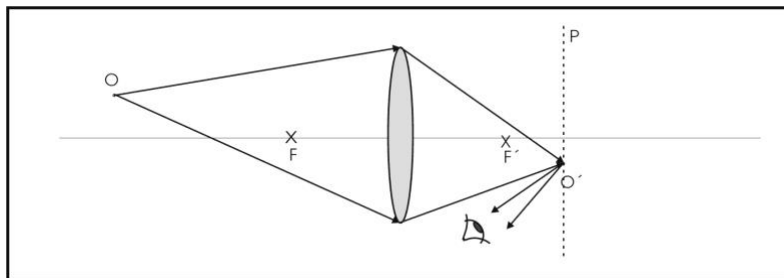






En esta sencilla actividad, debe trazarse siempre el haz de luz total para que los estudiantes interioricen que toda la luz que sale del objeto y pasa por la lente va a parar al punto imagen  $O'$ , independientemente del trazado de rayos que elijamos para encontrar el punto imagen, tal como se muestra en la Ilustración 2.

ILUSTRACIÓN 2: Trazado haz de luz total



En cuanto a la naturaleza de la luz, ningún libro establece la importancia que tuvo el principio de Huygens-Fresnel para la consolidación del modelo ondulatorio de la luz. Solamente el texto LOE-AN explica la producción de las ondas electromagnéticas y únicamente el texto LOM-SAN explica el dispositivo ideado por Hertz. Todos los textos introducen el concepto de campo como un mero medio de calcular la fuerza y en ninguno de ellos el campo llega a adquirir su verdadero significado físico, que evita la acción a distancia, convirtiéndola en una acción local entre la partícula y el campo existente en dicho punto.

### 3.a. Bloque I: Organización del estudio de la Óptica

Se ha constatado que todos los libros de texto definen la óptica física y la óptica geométrica por separado y sin relación con la visión. Además, ninguno de los textos analizados vuelve a analizar las leyes de la óptica geométrica una vez conocida la naturaleza de la luz, a fin de comprobar su validez. Todos ofrecen diferentes definiciones de la óptica geométrica, sin ninguna relación con la visión, desoyendo por completo la evolución histórica de los conocimientos y sin tener en cuenta su sentido real. La Tabla 4 recoge algunos ejemplos representativos sobre esta cuestión:

TABLA 4. Ejemplos de definición de Óptica Geométrica en los libros de texto analizados

Editorial	Texto de Ejemplo	Interpretación
LOE-EC	“El estudio de los fenómenos relacionados con la interacción de la luz con una superficie de separación de dos medios, permite explicar tanto las imágenes que se forman en los espejos, reflexión, como la deformación aparente de los objetos parcialmente sumergidos en agua, o refracción” (p. 193)	Define la óptica geométrica en función de los supuestos básicos
LOE-EDE	“La parte de la óptica que trata, a partir de representaciones geométricas, de los cambios de dirección que experimentan los rayos luminosos en los distintos fenómenos de reflexión y refracción” (p. 256)	Define la óptica geométrica en función de las representaciones geométricas
LOE-MG	“La óptica geométrica explica los fenómenos luminosos aplicando el concepto de rayo, que es la trayectoria que sigue la luz en su propagación. A partir de este concepto y de las leyes de la reflexión y la refracción, se obtienen las imágenes en espejos, lentes e instrumentos ópticos, que son de una gran utilidad” (p. 221) / (p. 241)	Definen la óptica geométrica en función del concepto de rayo
LOE-VV		

LOM-ED	"Es la parte de la física que estudia la propagación de la luz partiendo del concepto de rayo luminoso, sin considerar el carácter corpuscular o electromagnético de la luz" (p. 172) / (p. 245)	
LOM-MG		
LOM-OX	"Es aquella en la que no se toma en consideración la longitud de onda de la luz, pues esta es despreciable frente a las magnitudes de los objetos. Se dice así, que es la óptica en el límite en que $\lambda \rightarrow 0$ " (p. 254)	Define la óptica geométrica en función de la longitud de onda

Por otro lado, consideramos clave que la óptica ondulatoria se explique en relación con la naturaleza de la luz, a fin de dar continuidad a lo aprendido con anterioridad por los estudiantes. Sin embargo, tan sólo tres textos explican la relación entre la óptica ondulatoria y la naturaleza de la luz, encontrándonos tratamientos muy diferentes en el resto de los manuales, tal como se recoge en la Tabla 5.

TABLA 5. Ejemplos de la explicación de las leyes de la Óptica Ondulatoria en los libros de texto analizados

Editorial	Texto de Ejemplo
LOM-OX	Se explican haciendo uso de la llamada "aproximación de rayo" y apunta que esta aproximación deja de ser útil para analizar los fenómenos de difracción (p. 232-242) / (p. 192)
LOM-SA	
LOE-BR	"Dos de los aspectos que más contribuyeron a demostrar la naturaleza ondulatoria de la luz fueron los fenómenos de interferencia y difracción" (p. 127)
LOE-EC	"Los fenómenos ópticos que diferencian las ondas de las partículas son la difracción y las interferencias. Ambas se explican a partir del principio de Huygens" (p. 217)

Otra de las cuestiones que se analiza es si en los libros de texto se considera la propagación rectilínea, la reflexión o refracción de la luz como hipótesis para explicar la visión. En ningún caso se plantea como eje de investigación la explicación de la visión. Por otro lado, a la hora de plantear los límites de aplicación de la óptica geométrica para explicar la visión, solamente el manual LOE-EV traza estos límites, pero no en función de la visión: ... "cuando no se cumplen estas condiciones, lo que resulta frecuente en la práctica, se producen alteraciones en las imágenes que se conocen con el nombre de aberraciones" (p. 248). Por su parte, LOE-ED explica que la óptica física se ocupa del estudio de los fenómenos característicos de las ondas luminosas, como la interferencia y la difracción. A continuación, dice que: "estos fenómenos no pueden interpretarse correctamente mediante una simple aplicación de la aproximación de rayos" (p. 264). En el resto de los textos no encontramos el planteamiento de ningún límite de la óptica geométrica.

### 3.b. Bloque II. Tratamiento histórico de la Óptica.

El segundo de los bloques se centra en comprobar el tratamiento histórico de la óptica. Hemos constatado que ninguno de los libros de texto estudiados ofrece lecturas históricas del tema. Solamente tres de ellos ofrecen resúmenes de las principales teorías: LOE-AN (p. 258-261), LOE-ED (p. 248) y LOE-MG (p. 200-202). Además, ningún libro introduce la lectura de una obra cumbre de la óptica.

### 3.c. Bloque III. Obstáculos en la comprensión de conceptos básicos.

El tercer bloque se refiere a los obstáculos que pueden impedir la comprensión de los conceptos básicos por parte del alumnado. En este caso, ningún libro de texto los tiene en consideración o bien estos no se abordan correctamente. En relación con el concepto "haz de luz", los únicos textos que tratan de definirlo no lo hacen plenamente: "un haz de luz es un conjunto de rayos luminosos que proceden del mismo foco luminoso" (LOE-VV, p. 235). Por su parte, LOM-OX lo dibuja en algunos esquemas, pero se refiere erróneamente a él como "conjunto de rayos incidentes" (p. 257), no obstante, es el único texto que menciona la existencia real del haz de luz: "debemos tener claro que un rayo no es un haz (que físicamente si existe)" (p. 255). En relación con la formación de imágenes, algunos textos como LOE-BR, LOM-SA y LOM-VV utilizan el haz de luz en algunos esquemas en espejos planos, aunque sin explicarlo. En espejos esféricos, lentes convergentes y divergentes, utilizan el algoritmo de rayos, también sin explicar nada sobre ellos. En cuanto

al concepto de “rayo de luz”, solamente uno de los textos lo explica correctamente: “el concepto de rayo es, en realidad, una construcción matemática que solo representa la dirección de propagación del flujo de energía radiante, de modo que el rayo es perpendicular a cada punto del frente de onda” (LOM-OX, p. 255). En el resto de los manuales encontramos diferentes definiciones, algunas en función del campo eléctrico y magnético: “Una línea imaginaria perpendicular al frente de onda que definen los campos eléctrico y magnético” (LOE-AN, p. 264), y otras en función de la dirección de propagación de la luz: “Los rayos son líneas rectas que coinciden con la dirección de propagación de la luz” (LOM-MG, p. 245).

Por otro lado, ningún texto considera al ojo como parte del sistema óptico al que le llega un haz divergente de luz para formar la imagen y, además, ninguno elabora un modelo simplificado de ojo para introducir el concepto de imagen óptica. Hay textos que introducen el concepto de imagen mediante una definición: “Imagen real es aquella que puede registrarse realmente al colocar en ese punto una pantalla o un registro fotográfico” “Imagen virtual es aquella que no puede registrarse en una pantalla o registro fotográfico” (LOM-OX, p. 256). Mientras, otros definen la imagen mediante el trazado de rayos: “La imagen de un objeto se forma en el lugar donde los rayos desviados, o sus prolongaciones, vuelven a juntarse” (LOM-VV, p. 192). Otros textos, por su parte, introducen a modo de axiomas, la definición de imagen real y virtual de un objeto o bien no ofrecen ninguna definición de imagen:

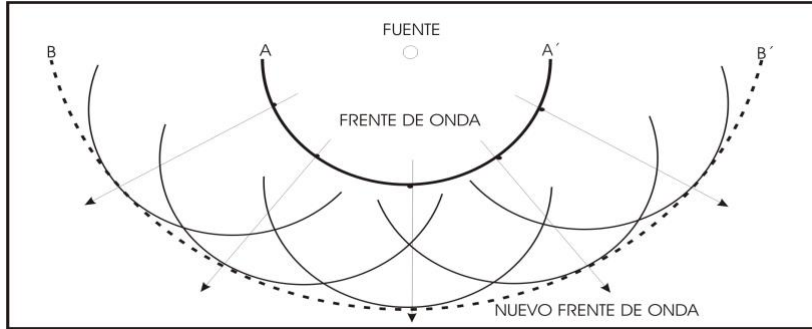
“Imagen real: Si los rayos procedentes de un punto A atraviesan un sistema óptico y convergen a la salida cortándose en un punto A' este punto A' recibe el nombre de imagen real de A. Si los rayos procedentes de un punto A atraviesan un sistema óptico y salen divergentes – son sus prolongaciones en sentido contrario al de propagación de la luz las que se cortan-, forman una imagen virtual en A” (LOE-MG, p. 222) y (LOM-MG, p. 245).

En cuanto a la importancia del principio de Huygens-Fresnel para la aceptación del modelo ondulatorio, ningún texto lo aborda, aunque este haya sido el paso definitivo para la consolidación del modelo ondulatorio de la luz, pues podía por fin explicar la propagación rectilínea de la luz. Por su parte, solamente un texto intenta explicar la producción de ondas electromagnéticas: “un método sencillo de generar ondas electromagnéticas consiste en preparar un circuito oscilante, que consta de una bobina y de un condensador...” (LOE-AN, p. 261) y solamente el texto LOM-SA (p.187) explica el dispositivo ideado por Hertz y que consiguió producir y detectar distintos tipos de ondas electromagnéticas.

Por todo lo anterior, creemos que sería interesante que todos los manuales examinados incluyesen una planificación del tema siguiendo una estructura problematizada [17,19] que enseñe a nuestros estudiantes a resolver problemas y realizar trabajos prácticos. Con la intención de ilustrar y evidenciar las potencialidades de esta metodología propuesta, planteamos varios ejemplos. En el primero de estos ejemplos se aborda el concepto del “rayo de luz” planteando al alumnado la siguiente tarea: “*Con frecuencia se afirma que entran “rayos de luz” entre los agujeros de las persianas al ver en el espacio oscurecido de la habitación unas estelas rectas iluminadas. Da una explicación a este fenómeno e interpreta a partir de las experiencias anteriores el significado de rayo de luz*”. Con esta actividad se intenta desmontar la idea habitual de los rayos que tienen los estudiantes: es decir, la confusión entre “rayos” de luz y “haces” de luz. Es muy importante que construyan un significado adecuado para el rayo de luz, ya que ello implica la correcta comprensión de los fenómenos ópticos. Para muchos estudiantes el “rayo de luz” es un concepto ambiguo, de algo visible, con entidad real y lo asemejan a los halos coloreados que se ven alrededor de, por ejemplo, el fuego o las lámparas, o a la línea continua de partículas de polvo que difunden luz cuando un haz entra por una rendija de la ventana, etc. Se puede realizar el experimento de mirar a través de un tubo hacia la luz que emite una linterna y, en las proximidades de la linterna echar un poco de polvo de tiza (Osuna, 2012).

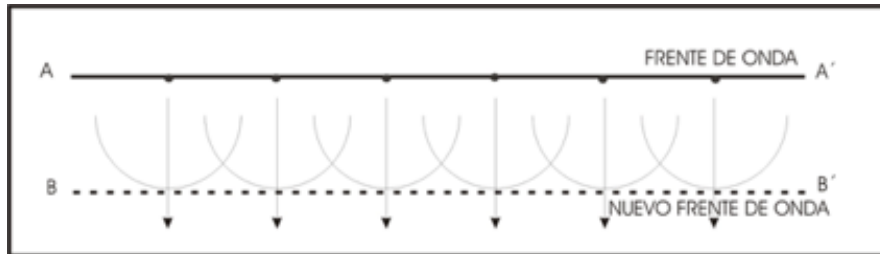
El siguiente ejemplo sirve para que el alumnado comprenda que la teoría ondulatoria también puede explicar la propagación rectilínea de la luz, pues sabemos que fue un escollo difícil de superar, que de hecho durante tiempo favoreció la aceptación de la teoría corpuscular de la luz que proponía una explicación más directa. Para esta actividad, debe partirse de las explicaciones del principio de Huygens-Fresnel, proponiendo al alumnado realizar el siguiente trazado: Todos los puntos a lo largo del frente de ondas AA' son, a su vez, fuente de nuevas onditas, un poco de tiempo después esas nuevas onditas superpuestas formarán una nueva superficie BB', la cual puede considerarse la envolvente de todas ellas.

ILUSTRACIÓN 3: Representación de la fuente de ondas según el principio de Huygens-Fresnell



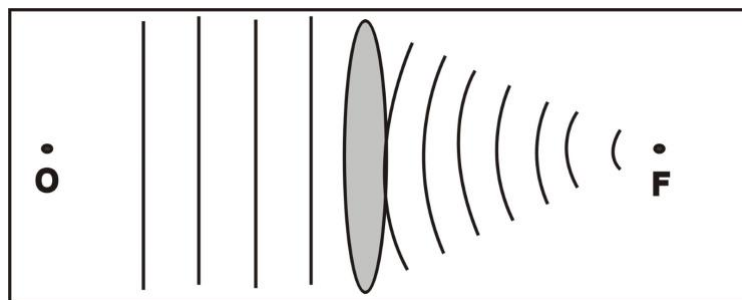
En la Ilustración 3 se representan sólo unas cuantas del número infinito de onditas que se producen a partir de unas pocas fuentes puntuales secundarias, que se combinan para producir la envolvente BB'. Conforme se extiende la onda, cualquier segmento de ella parece menos curvo. Muy lejos de la fuente original, las ondas casi forman un plano, como sucede, por ejemplo, con las ondas procedentes del sol. En la Ilustración 4 se muestra una construcción hecha por Huygens a base de onditas para frentes de ondas planos.

ILUSTRACIÓN 4: Nuevo frente de ondas según el principio de Huygens-Fresnell



La finalidad de esta actividad es que, a través de la representación de la luz como una onda, el alumnado pueda dibujar desde una perspectiva ondulatoria qué le ocurriría a una onda que se desplaza y en su camino encuentra una lente convergente, una lente divergente o un espejo esférico. Para dar cuenta del hecho de que la luz que proviene de una fuente lejana se concentra en el foco, el profesor explicará que la luz tarda más en pasar por el centro de la lente que por la parte exterior, debido a que la velocidad de la luz en el vidrio es menor que en el aire, dando como resultado una onda que converge en el punto F de la lente. La Ilustración 5 muestra el esquema adecuado de representación.

ILUSTRACIÓN 5: Esquema de representación del paso de luz por una lente.



Estos ejemplos, que ilustran como plantear el estudio de la óptica en bachillerato desde una enseñanza problematizada, están recogidos en una unidad didáctica que se ha diseñado y puesto en práctica durante dos cursos académicos con buena aceptación por parte del alumnado, tras haber constatado las limitaciones conceptuales y metodológicas existentes en los libros de texto que habitualmente se emplean para trabajar este tema.

#### 4. Conclusiones

Hemos evidenciado que los libros de texto de Física de 2º de Bachillerato no siguen las prescripciones fundamentales de la Didáctica de las Ciencias, presentando carencias que afectan a la comprensión de

aspectos clave del modelo de visión de Kepler y del modelo ondulatorio de la luz, y que esas carencias se mantienen pese al cambio de Ley Educativa. Comprobamos, además, que algunos libros LOMCE muestran un análisis conceptual más deficiente, como por ejemplo al explicar el concepto de “rayo” tan importante en óptica geométrica o en el tratamiento de las fuentes secundarias de luz. Estos errores continuados en el tiempo se transmiten a profesores y estudiantes, conllevando a conceptos erróneos generalizados. Por tanto, es necesario el diseño de materiales complementarios al libro de texto que permitan romper la visión uniforme de los contenidos de la Óptica. Es cierto que los libros de texto controlan en buena medida lo que sucede en el aula [26], siendo el principal recurso de instrucción, pero es necesario que el profesorado sea un sujeto activo en su utilización.

En virtud de las cuestiones analizadas en nuestra investigación, constatamos que los libros de texto de Física de diferentes editoriales que compiten entre sí no presentan diferencias significativas, raramente se introducen innovaciones en estos materiales [27]. En general, estos libros ofrecen un tratamiento empirista de los fenómenos ópticos; no tienen en cuenta la revisión histórica para la identificación de posibles problemas en la comprensión de la óptica, ni para plantear los problemas relacionados con el tema y, además, no abordan las posibles limitaciones que pueden encontrar los estudiantes para comprender el proceso de visión y la naturaleza ondulatoria de la luz. Al igual que en los libros de texto de Ciencias [28,29,30,31], encontramos que los libros analizados muestran la óptica como una actividad rígida en la que no se tienen en cuenta las dudas propias de todo proceso de descubrimiento científico, ni las dificultades que se tuvieron que superar a lo largo de la historia para conseguir un modelo adecuado que explique los fenómenos observados. Al igual que constataron otros investigadores [11], los materiales curriculares analizados presentan ciertas deficiencias en la explicación de fenómenos que perfectamente pueden ser comprendidos por el alumnado. Por tanto, consideramos que los estudiantes tendrán dificultades para integrar los modelos geométrico y ondulatorio de la óptica, pues la mayoría del alumnado, al igual que hacen los libros de texto, abordan las situaciones experimentales desde la óptica geométrica o construyen modelos híbridos entre la óptica geométrica y la óptica ondulatoria. Los resultados de la investigación educativa así lo confirman [32,33,34].

Por todo ello, creemos que resulta necesario un planteamiento más novedoso de este tema en los libros de texto. Si queremos que los alumnos comprendan los bloques relativos a la Óptica de 2º de Bachillerato, necesitamos plantearles situaciones – de las que hemos proporcionado algún ejemplo significativo en la Sección 3. Resultados - en las que su conocimiento previo, basado en la experiencia y el sentido común, no sea suficiente para explicar lo que sucede, pues sabemos que los alumnos se resisten, en general, a cuestionar y cambiar los elementos que componen su pensamiento [35].

### **Agradecimientos**

Los autores agradecen a los revisores anónimos por los comentarios constructivos que han mejorado la calidad del manuscrito. Se agradece también al Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades de España por el apoyo financiero parcial en los proyectos PGC2018-101814-B-I00 y PGC2018-101948-B-I00.