

Refracción en lentes delgadas: abordaje del fenómeno en los libros de texto universitarios

Refraction in thin lenses: approach to the
phenomenon in university textbooks

Norah Giacosa¹, Claudia Zang¹ y Alejandro Such¹

¹ Facultad de Ciencias Exactas, Químicas y Naturales, Universidad Nacional de Misiones, Félix de Azara 1552, CP 3300 Posadas, Misiones. Argentina.

*E-mail: norahgiacosa@gmail.com

Recibido el 30 de septiembre de 2022 | Aceptado el 24 de octubre de 2022

Resumen

Se examinó, mediante el análisis de contenido, el tratamiento dado al fenómeno de refracción en lentes delgadas en una muestra intencional de diez libros universitarios de Física, usados habitualmente en el ciclo básico de carreras científico-tecnológicas argentinas. Se analizó el sistema simbólico y lingüístico empleado en ella. Los resultados muestran que las expresiones formales que cuantifican el fenómeno, las convenciones de signos adoptadas y las secuencias de enseñanza propuestas son disímiles. Las imágenes se utilizan, mayoritariamente, para describir apelando a esquemas, se muestran en blanco y negro, no contienen etiquetas verbales ni ambigüedades. Todas las imágenes están relacionadas con el texto principal. Se concluye que existen escasas figuras, poco frecuentes, que invitan a profundizar algunas cuestiones que merecen ser problematizadas y explicitadas en situaciones áulicas.

Palabras clave: Lentes delgadas; Refracción; Libros de texto; Física; Universidad.

Abstract

Through content analysis, the treatment given to the phenomenon of refraction in thin lenses was examined in an intentional sample of ten university Physics books, commonly used in the basic cycle of Argentine scientific-technological careers. The symbolic and linguistic system used in it was analyzed. The results show that the formal expressions that quantify the phenomenon, the adopted sign conventions and the proposed teaching sequences are dissimilar. The images are used, mainly, to describe appealing to schemes, they are shown in black and white, they do not contain verbal labels or ambiguities. All images are related to the main text. It is concluded that there are few figures, infrequent, that invite to deepen some issues that deserve to be problematized and explained in classroom situations.

Keywords: Thin lenses; Refraction; Textbooks; Physical; University.

I. INTRODUCCIÓN

La investigación educativa en Física ha contribuido a identificar algunas concepciones de los estudiantes, en el campo de la Óptica Geométrica, que actuarían como obstáculos en el desarrollo de sus pensamientos y dificultarían aprendizajes significativos. Por ejemplo, la incomprensión en la formación de imágenes se debe principalmente a la falta de superación eficiente de las concepciones alternativas, no sólo respecto a la formación de imágenes, sino sobre la naturaleza de la luz y la visión (Pesa de Danón, 1999). Con relación a los modelos alternativos de visión, Osuna García y colaboradores (2007) señalan que experiencias realizadas en diversas instituciones educativas y en diferentes

niveles de educación mostraron que los estudiantes pueden interpretar la visión sin necesidad de que llegue luz procedente del objeto al ojo del observador y sin tener un esquema geométrico idealizado. Con respecto a la formación de imágenes en lentes convergentes y la posición relativa de la pantalla donde se la proyecta, Goldberg y McDermontt (1987) comprobaron que un alto porcentaje de alumnos piensa que la imagen sigue existiendo, aunque se aleje o suprima la pantalla; y que se vería la mitad de la imagen si se obturara con un elemento opaco media lente. Asimismo, sostienen que la existencia de concepciones alternativas sobre la imagen se mantiene inalterada aún después de la instrucción. En una postura semejante, otros investigadores sostienen que parte de la incomprensión relativa a la imagen se debe a una pobre discriminación entre los procesos de formación de una imagen y la percepción visual de la misma (Salinas y Sandoval, 2000) o que las tergiversaciones están relacionadas con tres conceptos básicos: luz, imagen y visión (Nasser y otros, 2021).

Por su parte, Viennot y Kaminsky (1991) han señalado incluso que una mayoría de profesores entrevistados, sostiene erróneamente que una imagen real no puede ser vista a simple vista. Según estos investigadores, la metodología de enseñanza – basada únicamente en: a) el aprendizaje y repetición de procedimientos algorítmicos, b) algoritmos geométricos de construcción de imágenes y c) escasa experimentación- y la forma de introducir los conceptos crearían una ilusión escolar de que estos procedimientos conllevan a la comprensión de los conceptos.

Se sostiene que, si bien son múltiples las causas que pueden obstaculizar el aprendizaje del fenómeno de refracción, las intervenciones áulicas y las actividades experimentales que propongan los docentes como así también los libros de texto (LT) que recomiendan los profesores a sus estudiantes juegan un papel preponderante. Hay estudios que señalan que los LT contienen errores e invitan a reflexionar sobre cómo convertir las imprecisiones o ambigüedades en un recurso para la enseñanza (Campanario, 2003; Carrascosa, 2006; Slisko, 2009).

En virtud de lo expuesto, el propósito de este trabajo es analizar el sistema simbólico y el sistema lingüístico que se emplean en una muestra intencional de LT de Física universitaria en el abordaje del fenómeno de refracción en lentes delgadas.

II. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

El LT o manual escolar, tal como lo define Bonafé (2008), es un “recurso material específico del trabajo de enseñanza en las situaciones de aula [...] y que ha sido pensado, diseñado, escrito, editado, vendido y comprado para esta finalidad de la educación institucionalizada...” que suele “responder a la organización de las propuestas didácticas de una asignatura o disciplina concreta de las prescritas en el currículum oficial” (p.62). Asimismo, señala que en él se concreta un complejo conjunto de relaciones estructurales entre el saber y el poder; y advierte que, a pesar de la aparente variedad de LT- de una misma asignatura- que suelen ofrecer las editoriales, “prácticamente todos los libros enseñan lo mismo de la misma manera” (p.66). Los LT, entendidos como productos comerciales, compiten con el resto de la oferta editorial y deben adaptarse a las demandas del mercado, las cuales, según Apple (1989) están guiadas especialmente por las preferencias de los profesores y no de sus destinatarios o lectores.

Se sostiene, como lo hacen otros colegas investigadores, que la elección de los LT que recomienda el docente a sus estudiantes determina en gran medida lo que sucede en el aula y actúa como mediador en el aprendizaje. Lo cual justifica ampliamente la importancia que ha adquirido el análisis de LT como campo de investigación educativa y el surgimiento de proyectos educativos (Proyecto 2061: Asociación Americana para el avance de la Ciencias), e instituciones (IARTEM: Asociación para la Investigación de Libros de Texto y Medios Educativos) preocupados por la calidad de ellos.

Con relación a los LT de Física, se acuerda con el marco referencial que proponen Alexander y Kulikowich (1994) al considerarlos como *bilingües* y con la importancia que otorga Lemke (2006) no sólo al lenguaje verbal como medio primordial de comunicación, sino también a las representaciones visuales estáticas. Estas últimas, según su interpretación, no pueden integrarse de forma automática o natural, por ser culturalmente específicas; y, por ende, deben ser enseñadas y aprendidas. Mayores detalles de estas últimas cuestiones citadas -por razones de espacio- pueden ampliarse en las fuentes citadas o en publicaciones anteriores del equipo de investigación (Giacosa, Zang, Such, Galeano y Maidana, 2020).

III. ANTECEDENTES

Las publicaciones científicas centradas en los LT o los fenómenos ópticos son abundantes y variadas. Se pueden hallar estudios dedicados a analizar la producción científica de investigaciones didácticas abocadas al análisis de los LT de Física (Lizarazo, Rivera y Ramírez, 2021; Ribeiro y Carneiro, 2016) o la evolución histórica de los LT de Física (Hosoume y Martins, 2022). Otras, se dedican a presentar proyectos educativos para la enseñanza de la Óptica Geométrica (Bravo,

Pesa y Braumüller, 2022; de Barcellos Coelho, 2022; Kencana, Iswanto y Wibowo, 2021), resultados de la incorporación de *software* educativo (Erdoğan y Bozkurt, 2022; Chirino, Rodríguez y Rodríguez, 2015), experiencias de bajo costo (Gonçalves y Rodrigues, 2022) y presentación de equipos de Óptica desarrollado por los investigadores (Tavares, Silva y Chesman, 2022), entre otros.

Entre los antecedentes relacionados específicamente con este trabajo se puede citar la investigación realizada por Perales Palacios (1987) con la intención de identificar los conceptos de Óptica Geométrica que pueden ser considerados básicos y la secuencia en que deben ser enseñados. Para ello analizó diecinueve libros de texto de diversos niveles educativos (Bachillerato Unificado Polivalente, Preuniversitario, Monográfico específico y Universitario). Del análisis realizado surge la siguiente secuencia: naturaleza de la luz, principio de Huygens (optativo), propagación rectilínea de la luz, óptica geométrica, principio de Fermat (optativo), reflexión, espejos, refracción, prisma óptico, dispersión, sistema óptico y lentes. No existen, de la búsqueda realizadas, estudios que den cuenta de los objetivos planteados por este equipo de investigación.

IV. METODOLOGÍA

Se propuso investigar, mediante el análisis de contenido (Bardín, 1996), el tratamiento dado al fenómeno de refracción en lentes delgadas en una muestra intencional de diez LT de Física de uso frecuente en el ciclo básico universitario. Los ejemplares y el código asignado a cada uno de ellos se muestran en la tabla I.

TABLA I. Código asignado a los libros de texto seleccionados.

T1: Alonso, E. y Finn, E. (1976) <i>Física. Vol. II Campos y ondas</i> . Barcelona. España: Fondo Educativo Interamericano.
T2: Bauer, W. y Westfall, G. (2011) <i>Física para Ingeniería y Ciencias con Física moderna. Volumen 2</i> . (1.ª ed.) México: McGraw Hill.
T3: Gettys, E., Keller, F. y Skove, M. (2005) <i>Física para Ciencias e Ingeniería. Tomo II</i> . México: McGraw Hill.
T4: Giancoli, D. (2009) <i>Física para Ciencias e Ingeniería con Física moderna. Volumen II</i> . (4.ª ed.) México: Pearson Educación.
T5: Resnick, R., Halliday, D. y Krane, K. (2002). <i>Física. Vol. 2</i> . (5.ª ed.). México: Compañía Editorial Continental.
T6: Rex, A. y Wolfson, R. (2011) <i>Fundamentos de Física</i> . España: Pearson Educación.
T7: Serway, R. y Jewett, J. (2009) <i>Física para ciencia e ingeniería con Física Moderna. Vol. 2</i> . (7.ª ed.) México: Cengage Learning
T8: Tipler, P. (1993) <i>Física. Tomo 2</i> . (3.ª ed.) España: Reverté
T9: Wilson, J., Buffa, A. y Lou, B. (2007) <i>Física</i> . (6.ª ed.) México: Pearson Educación
T10: Young, H. y Freedman, R. (2009) <i>Física universitaria con Física Moderna. Vol. 2</i> . (12.ª ed.). México: Pearson Educación.

Los capítulos o secciones dedicados al estudio del fenómeno de refracción en lentes delgadas, sin incluir instrumentos ópticos -debido a la extensión que demandaría- se constituyeron en unidades de análisis específicas. Los temas precedentes relacionados al fenómeno objeto de estudio (reflexión en espejos esféricos y refracción en superficies esféricas) se consideraron unidades de análisis complementarias. Concretamente, se examinó el sistema simbólico y lingüístico (Alexander y Kulikowich, 1994) para identificar, *a priori*, I: el sentido de iluminación, II: las expresiones formales que cuantifican el fenómeno de refracción en lentes delgadas y sus respectivas convenciones de signo, III: la secuencia didáctica, IV: los límites de abordaje establecidos en cada ejemplar y V: si atiende las ideas alternativas de los estudiantes. Asimismo, se analizaron todas las imágenes teniendo en cuenta: a) función didáctica, b) grado de iconicidad, c) relación con el texto principal, d) etiquetas verbales e) color y f) ambigüedades (Perales, 2019).

V. RESULTADOS

A. Expresiones formales que describen el fenómeno de refracción

En la tabla II se indican las variables involucradas en las expresiones formales que se emplean en cada LT para describir el fenómeno de refracción y su respectiva notación. Con tres rayas “---” se señalaron las ausencias.

TABLA II. Notación de las variables en cada LT.

<i>Variables</i>	<i>T1</i>	<i>T2</i>	<i>T3</i>	<i>T4</i>	<i>T5</i>	<i>T6</i>	<i>T7</i>	<i>T8</i>	<i>T9</i>	<i>T10</i>
Distancia focal	f	f	f	f	f	f	f	f	f	f
Radio de curvatura	r	R	R	R	r	---	R	r	R	R
Distancia objeto	p	d _o	s	d _o	o	d _o	p	s	d _o	s
Distancia imagen	q	d _i	s'	d _i	i	d _i	q	s'	d _i	s'
Aumento lateral	M	M	m	m	m	m	M	M	m	M
Tamaño del objeto	y	h _o	---	h _o	---	---	h	y	---	---
Tamaño de la imagen	y'	h _i	---	h _i	---	---	h'	y'	---	---

La ecuación del constructor de lentes se presenta mayoritariamente (T2, T5, T7, T8, T10) de forma semejante a como se muestra en la ecuación (1).

$$\frac{1}{f} = (n-1) \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right) \quad (1)$$

No obstante, algunos ejemplares (T4, T9) reemplazan la diferencia de las recíprocas de los radios por la suma, otro (T1) invierte el orden de minuendo y sustraendo; y el restante que la presenta (T3) considera que el índice de refracción absoluto del medio que rodea la lente es n_1 y el de la lente n_2 . En el único ejemplar que no se la exhibe es T6. La convención de signos que adopta cada LT es variada y heterogénea, pero en todos ellos se afirma coincidentemente que, si la distancia focal es positiva, la lente es convergente; y si dicha distancia es negativa, la lente es divergente. En la mitad de los LT (T1, T2, T3, T4, T9) se asigna el signo del radio de curvatura teniendo en cuenta la *forma de la superficie esférica* (cóncava o convexa) y en los restantes (T5, T7, T8, T10), se usa la *posición del centro de curvatura*. El radio de curvatura se toma: *positivo* si la superficie es *convexa* y *negativo* si la superficie es *cóncava* en T2, T3, T4 y T9, en cambio- todo lo contrario-: *positivo* si la superficie es *cóncava* y *negativo* si la superficie es *convexa* únicamente en T1. La posición del centro de curvatura, con múltiples formas de describirla o definirla (T5: campo real o virtual, T7: delante o detrás de la lente, T8: lado de incidencia o transmisión de la luz y T10: del mismo lado que la luz saliente o del lado opuesto a la luz saliente) como ya se indicó, establece el signo del radio de curvatura en algunos ejemplares. El radio de curvatura es *positivo* si: está en el campo real en T5, está detrás de la lente en T7, en el lado de transmisión de la luz en T8 y del mismo lado de la luz saliente en T10. El radio se establece con signo negativo en los casos contrarios.

Es de destacar, como cuestión importante, que la mayoría de los ejemplares, excepto T1, emplea *un sentido* de iluminación desde la *izquierda hacia la derecha*. En T1, la iluminación empleada -contraria a la mayoría señalada y de *derecha a izquierda*- es coherente y concordante con el sistema cartesiano de coordenadas cartesianas habitualmente empleado en Matemáticas y Física.

La forma gaussiana de la ecuación lentes delgada se presenta, con diferentes nomenclaturas, como se muestra en la ecuación (2) que es idéntica a la que se emplea en espejos esféricos. En el único ejemplar que se define la recíproca de la distancia focal como la *diferencia* entre la recíproca de la distancia objeto y la recíproca de la distancia imagen para lentes delgadas es T1.

$$\frac{1}{d_o} + \frac{1}{d_i} = \frac{1}{f} \quad (2)$$

La convención de signos que se adopta en los LT que emplean la ecuación (2) considera que la distancia objeto es: a) positiva si el objeto es real y b) negativa si el objeto es virtual. Asimismo, se acuerda el criterio de distancia imagen: a) positiva si la imagen es real y b) negativa si la imagen es virtual, excepto en T1 donde se invierten los significados del signo de la distancia imagen.

El aumento lateral, con diferentes nomenclaturas, se presenta en la mayoría de los ejemplares analizados como se muestra en la ecuación (3). En el único ejemplar que se toma el aumento lateral como el cociente entre distancia imagen y distancia objeto es T1.

$$M = \frac{h_i}{h_o} = -\frac{d_i}{d_o} \quad (3)$$

Independientemente de las expresiones matemáticas empleadas, en todos los ejemplares, se define que el aumento lateral es: a) positivo si la imagen está derecha y b) negativo si la imagen está invertida. Asimismo, el valor absoluto del aumento, se interpreta: a) mayor a la unidad como imagen aumentada, b) igual a la unidad como imagen del mismo tamaño que el objeto y c) menor a la unidad como imagen disminuida.

Analizando las ecuaciones descriptas: (1) ecuación del constructor de lentes (C), (2) forma gaussiana de la ecuación de lentes (L) y (3) aumento lateral de lentes (M), fue posible identificar cuatro secuencias diferentes: **I**: C-L-M, **II**: L-M-C; **III**: L-C-M y **IV**: M-L. El 50% de los LT analizados (T1, T2, T3, T7, T8) emplea la secuencia I, un 30% (T4, T9, T10) usa la secuencia II, un 10% (T5) presenta la secuencia III y el 10% restante (T6) exhibe la secuencia IV.

Con relación a los *límites de abordaje*, en todos los LT se señala que si la distancia objeto es negativa, el objeto es virtual, pero en ninguno de ellos se establece explícitamente que las presentaciones y discusiones se centrarán mayoritariamente a objetos reales. En ningún ejemplar se exhibe una resolución -de los llamados “problemas resueltos /modelos” – donde el objeto sea virtual y la distancia objeto negativa. En un solo ejemplar, como aclaración de un asterisco y con letra menuda se indica: “En una combinación de dos (o más) lentes, la imagen que forma la primera lente se considera como objeto de la segunda (y así sucesivamente). Si esta imagen-objeto está detrás de la segunda lente, se llama objeto virtual, y se considera que la distancia al objeto es negativa (-)” (T9, p.745).

Finalmente, entre las *ideas alternativas* de los estudiantes que son tenidas en cuenta en algunos LT se encontraron: a) obturando media lente convergente la imagen que se observa es completa (T4:p.869, T9:p.746), b) existe la posibilidad de observar una imagen real prescindiendo de una pantalla siempre que el ojo del observador se ubique en la posición adecuada (T4:p.869) y las imágenes reales se invierten de arriba hacia abajo a lo largo del eje óptico, pero no se revierten de adelante hacia atrás a lo largo del mismo eje (T10:p.1176).

B. Las imágenes

El total de imágenes analizadas resultó ser 151, siendo el número máximo de imágenes presentes en un mismo ejemplar 20 (T4, T9, T10) y el número mínimo 7 (T3). En la tabla III se sintetizan los resultados del análisis realizado.

TABLA III. Frecuencia absoluta de variables analizadas por libro de texto.

Variables	Subvariables	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	Total
N.º de imágenes	---	8	17	7	20	12	15	17	15	20	20	151
	I.1. Evocación	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	I.2. Definición	0	1	0	2	0	2	2	0	6	15	28
	I.3. Aplicación	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
	I.4. Descripción	8	13	4	14	11	11	10	14	13	3	101
	I.5. Interpretación	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
I. Función didáctica en la que aparece la imagen	I.6. Problematización	0	3	3	4	1	2	5	1	1	1	21
	II.1. Foto	0	2	0	8	0	0	0	3	3	1	17
	II.2. Esquema	8	10	7	11	10	15	15	12	13	16	117
	II.3. Foto con dibujo	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	4
II. Grado de iconicidad	II.4. Gráfico cartesiano	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	2
	III.1. Sí	8	17	7	20	12	15	17	15	20	20	151
III. Relación con el texto principal	III.2. No	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	IV.1. Sí	1	0	0	4	5	15	5	4	17	17	68
IV. Etiquetas verbales	IV.2. No	7	17	7	16	7	0	12	11	3	3	83
	V.1 Blanco y Negro	8	0	7	10	12	15	17	1	20	0	90
V. Color	V.2. Coloridas	0	17	0	10	0	0	0	14	0	20	61
	VI.1. Sí	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	2
VI. Ambigüedades	VI.2. No	1	17	7	20	12	15	17	15	18	20	149

Las imágenes examinadas cumplen escasas *funciones didácticas* de las propuestas para el análisis, siendo la “descripción” la más empleada y alcanzado un valor porcentual de 67%. En términos generales, describen los elementos ópticos de las lentes, distancias involucradas en la ecuación general de lentes delgadas, la marcha de rayos, la formación de imágenes obtenidas por refracción, las características de las imágenes, etc. El 19% del total de imágenes inspeccionadas tiene la función “definición” y mayoritariamente lo hace a través de *afirmaciones* presentes en los epígrafes o en las etiquetas verbales. En dos ejemplares, T19 y T10, es notorio el uso que se hace de las etiquetas verbales, las cuales se emplean en el 85% (17/20) de las imágenes presentadas. El 14% de las ilustraciones tiene la función “problematización” la cual se usa mayoritariamente para ilustrar los problemas numéricos que se presentan resueltos o actividades catalogadas como “Ejercicio en clase” (T2). Existe una sola imagen (Fig.23.17, T9) considera - por los autores de esta investigación- como problematizadora que alude a cuestiones conceptuales y preconcepciones identificadas por la investigación educativa (Goldberg y McDermonnt, 1987) tal cómo determinar qué sucede con la imagen real que produce una lente convergente si se cubre parcialmente la lente. La función “aplicación” se identificó una sola vez (Fig.34.34, T10) y hace referencia a las lentes de anteojos, las cuales satisfacen la aproximación al concepto de lente delgada cuando se compara su espesor con la distancia objeto o distancia imagen. En la muestra examinada, ninguna imagen cumple la función “evocación” ni “interpretación”.

Con relación al *grado de iconicidad* de las ilustraciones, se pudieron identificar todas las categorías: “esquema” (78%), “foto” (11%), “dibujo” (7%), “foto con dibujo” (3%) y “gráfico cartesiano” (1%) en diferentes proporciones. Los esquemas remiten, al igual que la función didáctica descripción, a representaciones de los elementos ópticos de las lentes, las distancias de la forma gaussiana de la ecuación de lentes delgadas, las diferentes posiciones del objeto y sus respectivas imágenes, aberraciones (esféricas y cromáticas) de las lentes delgadas, etc. Las fotos muestran disposiciones experimentales o de la vida cotidiana de formación de imágenes producidas por diferentes tipos de lentes. Los dibujos indican, mayoritariamente, las diferentes formas de las lentes o los meniscos convergentes y divergentes; y la posición relativa de una imagen real cuando el objeto es tridimensional, entre otros. Las fotos con dibujos, se encontraron todas en un mismo ejemplar (T2: Fig. 33.6 y Fig.33.10), y muestran la convergencia y la divergencia de haces luminosos paralelos que inciden en una lente convergente y divergente respectivamente, a que las secuencialmente se les han superpuesto marcha de rayos (dibujada) y señalado el centro óptico. Los dos únicos gráficos cartesianos se identificaron en el mismo ejemplar (T5: Fig.15.a y b) y representan la suma del cociente entre la distancia objeto y el valor absoluto de la distancia focal ($o/|f|$) y el cociente entre la distancia imagen y el valor absoluto de la distancia focal ($i/|f|$) igualada a más o menos la unidad (± 1) para: a) lentes convergentes o espejos cóncavos y b) lentes divergentes y espejos convexos respectivamente. Unos párrafos más adelante se ampliarán detallares de esta última imagen.

Con respecto a la categoría *relación con el texto* es de destacar que todas las ilustraciones analizadas, en esta ocasión, guardan estrecha correspondencia con el texto principal. El análisis de las *etiquetas verbales* mostró una cierta paridad, el 45% del total de ilustraciones contiene etiquetas verbales y el 55% restante no las incorpora en las imágenes presentadas. Algo semejante ocurre al examinar el *color*, donde se advierte que la mayoría de las imágenes presentes en la muestra (60%) se exponen en blanco y negro y el porcentaje restante son coloridas.

Con relación a las categorías preestablecidas, específicamente *ambigüedades* de las imágenes analizadas, se sostiene que sólo dos de ellas (Fig.23.15. b: esquema y foto) contienen una contradicción al afirmar: “*Diagrama de rayos para una lente divergente con $d_o < f$. La imagen es virtual, derecha y aumentada.*” (T9, p.744). El esquema y foto mostrada corresponden a lentes “convergentes” utilizadas como lupa, las cuales efectivamente producen imágenes con las características mencionadas si la distancia objeto es menor que la distancia focal. Ante la imposibilidad de acceder a la misma edición en inglés (sexta), se conjetura que puede ser un error involuntario de los autores o de los traductores.

Finalmente, entre las imágenes que invitan a profundizar el tema o problematizarlas en situaciones áulicas ya sea porque son poco frecuentes o no son autoevidentes se encuentran las siguiente: Fig. 14 (c) (T5) (nuestra figura 1), Fig.15 (a) y (b) (T5) (nuestra figura 2) y la Fig. 30.40 (T10) que se muestra en nuestra figura 3.

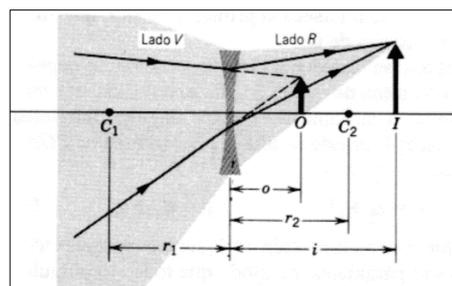


FIGURA 1. Fig. 14 (c) (T5).

En el epígrafe de la figura 1 se indica: “La luz convergente da un objeto virtual O . Se forma una imagen real, directa en I mediante una lente divergente” (T5, p.378) sin señalar que ese “objeto virtual” proviene de un sistema óptico centrado (no dibujado), por ejemplo, de la imagen real producida por una lente convergente cuando el objeto real se ubica a una distancia mayor a la distancia focal tal como proponen Salinas y Sandoval (1999) y que sólo para objetos virtuales las imágenes reales pueden ser *directas* o *derechas*. Más adelante, en el Problema muestra 5 se indica: “Las lentes de la figura 14 tienen radios de curvatura de 42 cm de magnitud y están hechos (sic) de vidrio con $n = 1.65$. Calcule sus distancias focales” (T5, p.380). Luego de establecer los signos de cada radio y aplicar la ecuación (1) afirma que la distancia focal es $f = -32$ cm. Es de hacer notar que en el esquema no se dibujan los focos de la lente, pero debido a las características de la imagen (real, derecha y de mayor tamaño que el objeto virtual) se infiere que el valor absoluto de la distancia objeto es menor que el valor absoluto de la distancia focal ($|o| < |f|$).

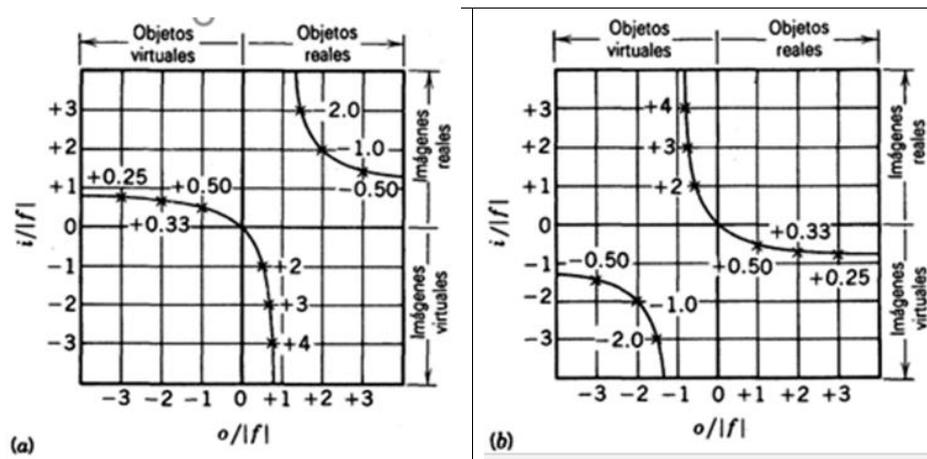


FIGURA 2. Fig.15 (a) y (b) (T5).

En la figura 2 se amplía la etiqueta verbal: “(a) Una representación de $i/|f|$ y $o/|f|$ para espejos cóncavos y lentes convergentes (cuadrante izquierdo inferior) un objeto virtual no puede producir una imagen virtual (véase la Ec. 15 (refiriéndose a la ecuación de aumento), indicando los valores positivos imágenes directas y los valores negativos imágenes invertidas. (b) Lo mismo para espejos convexos y lentes divergentes. Nótese que (cuadrante superior derecho) un objeto real no puede producir una imagen real...” y recomienda ver Bartlett (1976). Lo que no se especifica, en esta edición, es que en la referencia recomendada las figuras están invertidas (b es 1 y a es 2) y que los gráficos fueron construidos con un sentido de iluminación de “derecha a izquierda” lo cual es “contrario” a todos los esquemas y marcha de rayos que se muestran en el LT, pero que concuerdan con el sistema de coordenadas cartesianas usado habitualmente en Matemáticas (tal como se hace en T1).

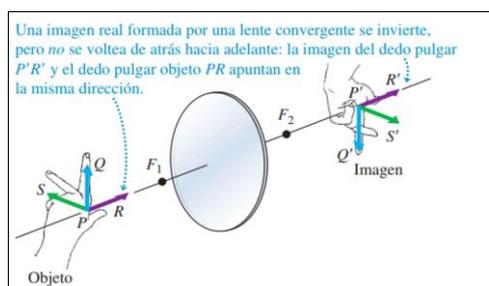


FIGURA 3. T10 (p.1175).

Finalmente, en la figura 3 se indica: “La imagen $S'P'Q'R'$ de un objeto tridimensional $SPQR$ no se voltea con una lente” y en el texto principal se indica: “...la imagen formada por la lente es invertida, pero no está volteada de adelante hacia atrás a lo largo del eje óptico. Es decir, si el objeto es una mano izquierda, su imagen también es una mano izquierda [...] En otras palabras, una imagen invertida es equivalente a una imagen que se ha girado 180° en torno al eje de la lente” (T10, p.1176) tal como sucede con la analogía que se propone en el LT “imagen en espejo plano”. Dichas características: “inversión” y “reversión” de las imágenes formadas por el fenómeno de reflexión en espejos planos han sido ampliamente desarrolladas por Sandoval y Salinas (1995).

VI. REFLEXIONES FINALES E IMPLICANCIAS PARA LA DOCENCIA

Se mostró un análisis de LT, en una muestra predefinida por los investigadores e intencional, con el cual es posible aproximarse al tratamiento dado al fenómeno de refracción en lentes delgadas en LT de Física universitaria usados habitualmente en el ciclo básico de carreras científico-tecnológicas que se desarrollan en Argentina. Dadas las características del estudio, sus resultados no son generalizables, pero se espera puedan servir de insumo para promover más investigaciones abocadas al análisis crítico y reflexivo de los LT; y colaborar con la difícil selección de LT a la que se enfrentan cotidianamente los docentes universitarios.

Las expresiones formales que cuantifican el fenómeno se presentan de manera diferenciada en cada LT y las convenciones de signos adoptadas son heterogéneas y disímiles. Generalmente, no se explicitan las razones de los criterios de convención, ni siquiera recurriendo al fenómeno de refracción que se desarrolla en la sección analizada y que podría colaborar con la comprensión “cualitativa” de ciertas definiciones taxativas que se muestran en algunos ejemplares.

Las reglas mnemotécnicas identificadas en esta investigación -sin una adecuada secuencia didáctica experimental que posibilite la construcción individual de aprendizajes significativos y la síntesis final de reflexión a la que debería arribar el estudiante - tal como sostienen Salinas y Sandoval (1999), resultan insuficientes y crearían la llamada “ilusión” de aprendizaje por aplicación reiterada de algoritmos matemáticos o construcciones geométricas (Viennot y Kaminsky, 1991). Ello explicaría, en parte, alguno de los resultados de investigaciones citadas que involucran estudiantes o profesores (Goldberg y McDermontt, 1987).

Es de destacar que en el volumen de imágenes analizadas en este trabajo (151) se encontró una sola que presenta, sin muchas explicaciones ni procedimientos de construcción geométrica, la imagen de un objeto virtual. Lo cual permite parafear la siguiente síntesis: “... una lente convergente puede dar imágenes reales o virtuales de un objeto real (reales para $o > f$, virtuales para $o < f$), mientras una lente divergente sólo da imágenes virtuales de tal tipo de objeto” independiente de su posición. En cambio, cuando el objeto es virtual se puede afirmar que: “... una lente divergente puede dar imágenes reales o virtuales (reales para $l < |f|$, virtuales para $l > |f|$), mientras una lente convergente sólo da imágenes reales de tal tipo de objeto” (Salinas y Sandoval, 1999, p.35).

Con relación al grado de iconicidad de las imágenes, tal como se señaló, la mayoría de ellas son *esquemas* que no contienen *etiquetas verbales*, lo cual, desde el punto de vista didáctico es una ventaja porque la representación simbólica atiende sólo a los caracteres o propiedades más sobresalientes y establece relaciones entre elementos del asunto o tema, lo cual facilita su decodificación. En este mismo sentido, Perales (2019) sostiene que son preferibles las ilustraciones de diseño sencillo; pues la complejidad o el exceso de detalles pueden dificultar su comprensión. Por otro lado, el hecho de que todas las imágenes estén relacionadas con el texto principal, mostraría que en los LT del nivel universitario examinados existe un tratamiento cauteloso y riguroso de las ilustraciones, lo cual concuerda con otras investigaciones (Otero, Moreira y Greca, 2002).

El análisis del tratamiento dispensado a los instrumentos ópticos, que por razones de espacio no se investigaron en esta ocasión, resulta una línea prometedora para futuros trabajos.

REFERENCIAS

Alexander, P. y Kulikowich, J. (1994). Learning from Physics text: A synthesis of recent research. *Journal of research in science teaching*, 31(9), 895-911.

Apple, M. (1989). *Maestros y Textos. Una economía política de las relaciones de clase y de sexo en educación*. Madrid: Centro de Publicaciones del Ministerio de Educación y Ciencia.

Bardín, L. (1996). *El análisis de contenido*. Madrid: Akal.

Bartlett, A. (1976) Image Formation in Lenses and Mirrors, a Complete Representation. *The Physics Teacher*, 14(5), 296-297.

Bravo, B., Pesa, M. y Braunmüller, M. (2022). IDAS: una metodología de enseñanza centrada en el estudiante para favorecer el aprendizaje de la física. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 44, e20210326.

Bonafé, J. (2008). Los libros de texto como práctica discursiva. *RASE: Revista de la Asociación de Sociología de la Educación*, 1(1), 62-73.

- Campanario, J. (2003) De la necesidad a la virtud: cómo aprovechar los errores e imprecisiones de los libros de texto para enseñar Física. *Enseñanza de la Ciencias*, 21(1), 161-172.
- Carrascosa, J. (2006) El problema de las concepciones alternativas en la actualidad (Parte III). Utilización didáctica de los errores conceptuales que aparecen en cómics, prensa, novelas y libros de texto. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 3(1), 77-88.
- Chirino, S., Rodríguez, N. y Rodríguez, G. (2015). Aprendizaje de contenidos de óptica geométrica utilizando software didáctico. *Revista de Enseñanza de la Física*, 27, 37-44.
- de Barcellos Coelho, A. (2022). O projeto “Óptica com Ciência”: Da concepção à derradeira avaliação. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 39(1), 174-203.
- Erdoğan, Ş. y Bozkurt, E. (2022). The effect of virtual laboratory applications prepared for Geometrical Optics Lesson on students’ achievement levels and attitudes towards Physics. *Pegem Journal of Education and Instruction*, 12(2), 226-234.
- Giacosa, N., Zang, C., Such, A., Galeano, R. y Maidana, J. (2020) Análisis de imágenes del experimento de Young en libros de texto universitarios. *Revista de Enseñanza de la Física*, 32 n° extra, 153-162.
- Goldberg, F. y McDermott, L. (1987) An investigation of student understanding of the real image formed by a converging lens or concave mirror. *American Journal Physics*, 55(2), 108-119.
- Gonçalves, L. y Rodrigues, C. (2022). Experimentos práticos e didáticos de baixo custo para o ensino de óptica: reflexão, refração e espelhos planos. *Conjecturas*, 22(5), 916-935.
- Hosoume, Y. y Martins, M. (2022). O Ensino de Física à luz dos livros didáticos (Da Reforma Capanema à Lei 5692/1971). *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 44, e20210287,1-16.
- Kencana, H., Iswanto, B. y Wibowo, F. (2021). Augmented Reality Geometrical Optics (AR-GiOs) for Physics Learning in High Schools. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 2019, No. 1, p. 012004). IOP Publishing.
- Lemke, J. (2006) Investigar para el futuro de la educación científica: nuevas formas de aprender, nuevas formas de vivir. *Enseñanza de la Ciencias*, (24), 1, 5-12.
- Lizarazo, M., Rivera, C. y Ramírez, E. (2021). La investigación didáctica sobre los libros de texto, el espacio en Física y el conocimiento escolar. *Tecné, Episteme y Didaxis: TED*, Número extraordinario, 2557-2565.
- Nasser, N., Khouzai, E., Mostapha, E. y Zahidi, A. (2021). Dificultades de aprendizaje de óptica geométrica para estudiantes marroquíes durante la transición secundaria/universitaria. *Revista Internacional de Evaluación e Investigación en Educación*, 10(1), 24-34.
- Osuna García, L., Martínez Torregrosa, J., Carrascosa Alís, J. y Verdú Carbonell, R (2007). Planificación, puesta en práctica y evaluación de la enseñanza problematizada sobre la luz y la visión en la educación secundaria obligatoria. *Enseñanza de las Ciencias*, 25(2), 277-294.
- Otero, M., Moreira, M. y Greca, I. (2002). El uso de imágenes en textos de física para la enseñanza secundaria y universitaria. *Investigações em ensino de ciências*, 7(2). 127-154.
- Perales, F. (2019). ¿Cómo podemos ayudar a los maestros en formación a analizar los libros de texto de ciencias? *Universitas Tarraconensis. Revista de Ciències de l'Educació*, 1(2), 33-42.
- Pesa de Danón, M. (1999). Concepciones y preconcepciones referidas a la formación de imágenes. *Revista de Enseñanza de la Física*, 12(1), 13-46.
- Ribeiro, J. y Carneiro, M. (2016). A reflexão da luz nos periódicos de Ensino de Física: evidenciando tendências e carências de pesquisa a partir de uma revisão bibliográfica. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 33(2), 355-398.

Salinas, J. y Sandoval, J. (1999). Objetos e imágenes reales y virtuales en la enseñanza de la Óptica Geométrica. *Revista de Enseñanza de la Física*, 12(2), 23-26.

Salinas J. y Sandoval, J. (2000) Enseñanza Experimental de la Óptica Geométrica: Campos de Visión de Lentes y Espejos *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 22 (2), 259-265.

Sandoval, J. y Salinas, J. (1995). Inversión y reversión en las imágenes formadas por espejos planos. *Revista de Enseñanza de la Física*, 8(2), 29-36.

Tavares, A., Silva, A. y Chesman, C. (2022). Portable Experiments for Learning about Laws of Geometric Optics with ISLE Methodology. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 44, e20220084.

Slisko, J. (2009) Repeated errors in physics textbooks: what do they say about the culture of teaching? *Physics Community and Cooperation. Volume 2*. International Conference GIREP-EPECT & PHEC. University of Leicester, UK, 31-46.

Viennot, L y Kaminsky, W. (1991). Participation des maîtres aux modes de raisonnement des élèves. *Enseñanza de las Ciencias*, 9(1), 3-9.