

Análisis de imágenes del *experimento de Young* en libros de texto universitarios*

Images of Young's experiment in university textbooks

Norah Giacosa^{1*}, Claudia Zang¹, Alejandro Such¹, Ramiro Galeano¹ y Jorge Maidana¹

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

*E-mail: norahgiacosa@gmail.com

Resumen

Se presentan resultados de un estudio descriptivo de casos múltiples. Se analizaron todas las imágenes relativas al experimento de Young presentes en diez libros de texto universitarios. Los resultados señalan que las imágenes se emplean mayoritariamente para definir y describir, recurriendo a esquemas y fotos. Todas las imágenes están relacionadas con el texto, la mayoría son coloridas y contienen etiquetas verbales. El uso de modelo de ondas sinusoidales prevalece sobre el de diagrama de fasores. Un bajo porcentaje de imágenes contiene ambigüedades que mezclan elementos de óptica geométrica con óptica ondulatoria. Se concluye que algunas imágenes complejas no son auto-evidentes ni transparentes, por lo que es imprescindible guiar a los estudiantes en el proceso de interpretación para garantizar su comprensión.

Palabras clave: Imágenes; Experimento de Young; Libros de texto; Física; Universidad.

Abstract

Results from a descriptive multiple-cases study are presented. All images relating to Young's experiment in ten university textbooks were analyzed. The results indicate that the images are mostly used to define and describe, using diagrams and photos. All images are text-related, most are colourful and contain verbal labels. The use of a sine wave model prevails over the use of a phasor diagram. A low percentage of images contain ambiguities that mix elements of geometric optics with wave optics. It is concluded that some complex images are not self-evident or transparent, so it is essential to guide the students in the process of interpretation to guarantee their understanding.

Keywords: Images; Young's experiment; Textbooks; Physics; University.

I. INTRODUCCIÓN

En un trabajo anterior (Giacosa, Galeano, Zang, Maidana y Such, 2019) se analizó la presentación del experimento de Young en un conjunto de libros de texto (LT) de Física universitaria haciendo énfasis en el sistema simbólico (específicamente en las ecuaciones) y el sistema lingüístico. Los resultados mostraron que el sistema simbólico es heterogéneo y alertaron sobre el uso de notaciones idénticas para representar diferentes variables tales como longitud o ángulo; y la discrepancia en un factor cuatro para la ecuación de la irradiancia en función de posición angular y de la posición

*Este trabajo se realizó en el marco de un proyecto de investigación, código 16Q-661, registrado en la Secretaría de Investigación y Posgrado de la FCEQyN (UNaM).

www.revistas.unc.edu.ar/index.php/revistaEF

lineal. Algunas expresiones verbales relacionadas con el tamaño de las rendijas -que no dejan explícitamente indicado que debe ser mayor a la longitud de onda- y el uso inadecuado de la palabra “rayo” fomentarían en los estudiantes algunos errores conceptuales difíciles de erradicar y explicaciones del fenómeno de interferencia empleando modelos “híbridos” reportados por investigaciones anteriores (Ambrose, Shaffer, Steinberg y Mc Dermott, 1999; Ambrose, Heron, Vokos y McDermott, 1999; Bravo, 2017; Mešić *et al.*, 2019).

El propósito de esta presentación, retomando y ampliando la investigación mencionada, es analizar las imágenes relativas a la experiencia de la doble rendija de Young, presentes en la misma muestra de LT de física universitaria frecuentemente usados en el ciclo básico de carreras científico-tecnológicas de la República Argentina.

II. EL LIBRO DE TEXTO Y LAS IMÁGENES

Los LT pueden definirse de diferentes maneras según sea el marco teórico que se adopte. Así, desde la teoría antropológica de Yves Chevallard (2013) son una “apuesta didáctica” concretada en una “obra”, es decir en cualquier objeto material o inmaterial creado por la acción humana para lograr ciertos propósitos. Para la teoría cognitiva del aprendizaje multimedia propuesta por Richard Mayer (2005) son “canales de comunicación multimedia”, es decir comunicaciones que contienen palabras e imágenes destinadas a fomentar el aprendizaje. Desde la semiótica social y el análisis crítico del discurso propuesto por Jay Lemke (1998) son “recursos” para aprender a hablar ciencia. A partir de la normativa vigente en la República Argentina desde el año 2001 se reconoce, mediante la “Ley del fomento del libro y la lectura” (Ley 25.446), que el libro y la lectura son “instrumentos” idóneos e indispensables para el enriquecimiento y transmisión de la cultura.

Las imágenes que emplean los LT son una representación externa –existen otras, las lingüísticas- que “re-presentan” alguna entidad del mundo real mediante símbolos o señales, posibilitan la comunicación y su principal utilidad es sustituir la citada entidad en ausencia de ella (Otero y Greca, 2004). Las imágenes estáticas de los LT en general, y en particular los LT de Física –catalogados como bilingües por Alexander y Kulikowich (1994)- constituyen un elemento más del sistema simbólico y se usan con el supuesto fin de capturar la atención de los lectores (Otero y Llano, 2019).

Una de las mayores dificultades para analizar las imágenes de los LT de Física universitaria radica en la alta especialización del contenido, el contexto en el que están insertas y el grado de formalidad del nivel educativo. Sin pretender ser exhaustivos y de acuerdo a la revisión bibliográfica realizada, en este trabajo las imágenes se clasificarán según el “grado de iconidad” en fotografía, esquema, gráfica y diagramas de fasores.

La *fotografía*, según la etimología de la palabra, es un conjunto de líneas grabadas con la luz. Existen diferentes tipos de fotografías, pero todas intentan representar con la mayor fidelidad posible la realidad. En algunas publicaciones se las considera representaciones icónicas narrativas (Otero y Llano, 2019). El *esquema*, como su nombre lo indica, es una representación simbólica conceptual de un asunto, materia o cosa, atendiendo sólo a sus caracteres o propiedades más sobresalientes. Es más abstracto que los dibujos y se lo suele usar para relacionar elementos o establecer niveles jerárquicos. La *gráfica*, es una representación visual elaborada a partir de un conjunto de datos y establecida a partir de la noción de función matemática. Su principal objetivo es poner de manifiesto, utilizando un conjunto de convenciones y formalismos, la relación que guardan entre sí los datos, lo cual posibilita analizar un proceso o un fenómeno. Como posee un alto nivel de abstracción, su lectura es más compleja que la de un esquema o dibujo, y requiere por parte del lector, de un dominio de códigos específicos para su decodificación o interpretación. Las *gráficas cartesianas* pueden tener dos usos científicos diferentes: experimental o teórico. Mientras que la gráfica con *uso experimental* representa un conjunto de datos empíricos, la gráfica con *uso teórico* constituye un modelo teórico que describe idealmente un fenómeno (García, 2005). Los *diagramas de fasores* son una técnica de representación gráfica estática que se emplea para simbolizar una oscilación, de manera que el fasor suma de varios fasores puede representar la magnitud y la fase de la oscilación resultante de la superposición de varias oscilaciones.

Dada la importancia que tienen las imágenes en los LT, Perales (2019) propone un decálogo para orientar el análisis didáctico de las mismas (resaltado en negra obrante en original):

1. Cuando una ilustración está dedicada sólo a “**adornar**” el libro, no produce un efecto positivo sobre el aprendizaje.
2. Cuando un texto describe un sistema (por ejemplo, un motor) mediante **relaciones causa-efecto** (por ejemplo, la explosión del combustible produce la expansión del pistón), las ilustraciones mejoran su comprensión si muestran estas relaciones y su secuencia (apoyadas en etiquetas verbales).
3. Si las **relaciones** son sólo **entre conceptos**, las ilustraciones que las representan (por ejemplo, mapas conceptuales) ayudan al establecimiento de dichas relaciones por parte del lector.
4. Las **imágenes mixtas** (las que incluyen representaciones realistas y abstractas) deberían mostrar, en primer lugar, tales representaciones por separado y establecer claramente la relación entre ambas (por ejemplo, una pila y su símbolo en un circuito eléctrico).

5. Las ilustraciones **ambiguas** pueden provocar desconcierto entre los lectores, por lo que el profesor debería eliminar todo elemento accesorio o de dudosa interpretación.
6. La enseñanza por **analogías** se beneficia de las representaciones pictóricas, pero sólo cuando el análogo es bien conocido, más simple y se explicitan las limitaciones de la analogía.
7. Son preferibles las ilustraciones de diseño **sencillo**, ya que la complejidad o el exceso de detalles pueden dificultar su comprensión.
8. Las ilustraciones deberían estar destinadas a aprendices con un bajo nivel de **conocimiento previo**, lo que garantizaría su accesibilidad a la mayoría de los lectores.
9. Para un mejor aprovechamiento didáctico de las ilustraciones es imprescindible **dirigir** el proceso de exploración por parte de los lectores a extraer información de ellas.
10. Algunas **actividades** con ilustraciones podrían ser: clarificar los signos gráficos; mejorar su coordinación con el texto escrito; simultanear las observaciones realistas y simbólicas; corregir errores; producir imágenes los propios alumnos, e integrarlas en la evaluación del aprendizaje. (Perales, 2019, p. 38)

III. ANTECEDENTES

Las investigaciones centradas en el LT son una línea prioritaria, teniendo en cuenta el número de docentes que lo usan y el rol que cumple este recurso didáctico, en el proceso de enseñanza y en las actividades de aprendizaje propuestas.

Entre los numerosos reportes de investigaciones centradas en las imágenes de contenidos científicos específicos presentes en los LT de ciencias de diversos niveles educativos, se pueden mencionar en las últimas décadas trabajos tales como: enlace químico (Matus, Benarroch y Perales, 2008), equilibrio químico (Matus, Benarroch y Nappa, 2011), ciclos del carbono y del nitrógeno (Maldonado, González y Jiménez, 2007), balanza de Coulomb (Silva y Monteiro, 2015), generación y distribución de energía (Díaz y Pandiella, 2007), día y noche, estaciones, fases lunares, movimiento del Sol (Galperín y Raviolo, 2017; Galperín, Raiolo, Prieto y Señorans, 2014), diagrama de energía de orbitales (Rozenalski y Porto, 2018), cambio climático (Melín, 2019) y cuerpo humano (López y Postigo, 2014) entre otros. En términos generales, las conclusiones indican que las imágenes que se utilizan para complementar el desarrollo de los temas no están exentas de problemas: algunas son complejas y en los LT se las trata como si fueran auto-evidentes, dado que no se explicitan cuáles son los requerimientos conceptuales para su comprensión o no se proveen las ayudas suficientes para guiar su interpretación (Matus *et al.*, 2011, López y Postigo, 2014, Rozenalski y Porto, 2018), se presentan con funciones didácticas diversas, prevalecen la descripción y definición, pero en muchos casos son meramente decorativas dado que presentan una débil conexión con los textos (Matus *et al.*, 2008, Maldonado *et al.*, 2007; Silva y Monteiro, 2015, Díaz y Pandiella, 2007, Merlín, 2019). Algunas son fuente de errores conceptuales (Galperín y Raviolo, 2017; Galperín *et al.*, 2014).

Por su parte, Lee (2010) analizó cómo fueron variando las representaciones visuales, publicadas entre 1943 y 2005 en 34 LT de Ciencias Físicas destinados a escuelas intermedias de Estados Unidos. La investigación se centró en un contenido particular: luz y óptica, pues la enseñanza de dicho contenido implica a menudo el uso de diagramas estandarizados para representar mediante diferentes modelos (óptica geométrica – óptica ondulatoria) la naturaleza de la luz. Los resultados muestran que ha aumentado el número de representaciones visuales presentes en los LT analizados y que dicho aumento proviene, a su entender, de la “inclusión agresiva” de fotografías en detrimento de esquemas o gráficos. Concluye que las representaciones visuales se duplicaron en el período de tiempo investigado.

Más recientemente, Aguilera y Perales (2018) estudiaron los LT, las ilustraciones incluidas en ellos y las actitudes hacia la ciencia del alumnado a través de un estudio etnográfico del que participaron diez docentes responsables de asignaturas de ciencia (maestros de educación primaria y profesores de educación secundaria). En sus conclusiones señalan que el LT -principalmente por el uso abusivo que se hace de él- favorece al desencantamiento del alumnado hacia las ciencias; no obstante, las ilustraciones constituyen un recurso didáctico eficaz en la promoción de actitudes positivas hacia la ciencia. Asimismo, indican que la principal fortaleza de las ilustraciones es promover el interés por aprender ciencia y su potencial explicativo.

Finalmente, Mešić *et al.* (2019) realizaron una investigación con el propósito de comparar la comprensión conceptual de los estudiantes de óptica ondulatoria en general; y en particular del fenómeno de interferencia de la doble rendija de Young empleando tres enfoques de enseñanza diferentes. Dichos enfoques se diferenciaron, entre otras cuestiones, por las representaciones visuales empleadas y son: a) tratamiento convencional, b) diagrama de fasores y c) secuencia de vectores eléctricos. En el primer modelo, se usaron ondas sinusoidales en fase o desfasadas media longitud de onda para mostrar la interferencia constructiva y destructiva, respectivamente. En el segundo, se priorizaron el uso de fasores resaltando la diferencia de fase para señalar los puntos de máxima y mínima intensidad luminosa. Por último, en la secuencia de vectores eléctricos se enfatiza la amplitud del vector campo eléctrico vibratorio de la onda electromagnética en función del período para inferir el tipo de interferencia. En sus conclusiones, señalan

que las visualizaciones de ondas de luz interferentes por diagrama de fasores o series de vectores eléctricos, favorecerían en el entendimiento de los mecanismos que subyacen en la formación de patrones de interferencia. En cambio, el uso inconsistente de las curvas sinusoidales resultó menos eficaz para promover el aprendizaje en los estudiantes involucrados en la investigación.

IV. METODOLOGÍA

Se proyectó investigar, mediante un estudio de casos múltiples, las imágenes del experimento de Young en una muestra intencional de diez LT de Física universitaria (Ander-Egg, 2010). En la tabla I se muestra el código asignado a los ejemplares seleccionados.

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. Vol. 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. en inglés, 4.ª en español). México: 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., Bufa, 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.

Las unidades de análisis (Bardin, 1996) fueron las secciones dedicadas al estudio del experimento de Young. En primera instancia se contabilizaron todas las imágenes y se calculó el porcentaje de espacio que ocupan las mismas con relación al texto escrito. Seguidamente, se plantearon, adaptaron y ampliaron las siguientes variables de análisis, propuestas por Perales (2019):

- I. Función didáctica en la que aparecen las imágenes (evocación, definición, aplicación, descripción, interpretación, problematización).
- II. Grado de iconicidad (foto, esquema, gráfico cartesiano, diagrama de fasores).
- III. Relación con el texto principal (sí, no).
- IV. Etiquetas verbales (sí, no).
- V. Color (blanco y negro, coloridas).
- VI. Modelo científico que las sustenta (ondas sinusoidales, diagramas fasoriales, secuencia de vectores eléctricos, no enfatiza ningún modelo anterior).
- VII. Ambigüedades (sí, no).

Las imágenes se contabilizaron teniendo en cuenta la cantidad de apartados que proponen los autores de los LT. Hubo ilustraciones yuxtapuestas o secuenciadas numeradas como una sola figura con cuatro “paneles” (ítems, apartados) que se contaron como cuatro siguiendo las recomendaciones de Lee (2010); y una sola –con dos paneles relacionados– que se contabilizó como dos imágenes para facilitar la clasificación. Además, en el cálculo del porcentaje de espacio que ocupan las ilustraciones con relación al texto escrito, los epígrafes de las denominadas “figuras” en los LT se registraron como texto escrito, pues se entendió que correspondían al sistema lingüístico.

La distinción entre la función didáctica “describir” y “definir” no ha sido fácil ni inmediata. Imágenes aparentemente semejantes en algunas ocasiones se clasificaron como “descripción” y en otras como “definición” ayudados por los epígrafes o por las expresiones verbales de las mismas. Por ejemplo, un esquema de la experiencia de Young que muestra la disposición experimental de los elementos fue considerada “descripción” si solamente indica la posición de fuente, pantalla con doble apertura y pantalla de proyección del patrón de interferencia; en cambio, se categorizó como “definición” si en dicho esquema o epígrafe se incluían expresiones tales como “Diferencia de trayectoria $\Delta r = d \sin \vartheta$ ” presente en la fig. 22.10 (Gettys, Keller y Skove, 2005, p. 573) o “ $d \sin \vartheta = d \sin \vartheta'$ ” incluida en la fig. 36.6 (Rex

y Wolfson, 2011, p. 573), pues en el sistema simbólico la igualdad es una afirmación. Por último, el análisis se realizó entre dos equipos de investigadores diferentes y luego, a manera de validación interna, se compararon y compatibilizaron los resultados.

V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Las imágenes examinadas en los 10 LT totalizan 103, siendo el número máximo 17 (T2) y el mínimo 3 (T6). Los LT ordenados de mayor a menor cantidad de ilustraciones son: T2, T4, T7, T5 - T10, T3, T1, T8 - T9 y T6. El porcentaje de espacio que ocupan las imágenes es heterogéneo, varía desde un mínimo de 16% (T5) hasta un máximo de 37% (T9), siendo el porcentaje promedio de 29%. Los LT que superan el promedio anterior son: T9, T6, T1 y T10, en tanto que los LT que destinan menor espacio a las ilustraciones que el promedio de la muestra son: T2, T7, T3, T8, T3 y T4. En la tabla II se sintetizan los resultados del análisis realizado.

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

<i>Variables</i>	<i>Subvariables</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>
Número de imágenes	---	8	17	9	15	12	3	13	7	7	12
Porcentaje ocupado por imágenes	---	35	28	26	23	16	36	28	25	37	33
I. Función didáctica en la que aparece la imagen	I.1. Evocación	1	0	2	0	1	0	1	1	1	1
	I.2. Definición	1	5	4	8	3	2	5	1	4	5
	I.3. Aplicación	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
	I.4. Descripción	4	11	3	3	7	1	6	4	1	3
	I.5. Interpretación	2	1	0	4	1	0	1	1	1	1
	I.6. Problematicación	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
II. Grado de iconicidad	II.1. Foto	2	1	3	1	2	1	3	2	2	2
	II.2. Esquema	2	7	6	11	6	2	9	3	5	8
	II.3. Gráfico cartesiano	3	7	0	2	1	0	1	1	0	1
	II.4. Diagrama de fasores	1	2	0	1	3	0	0	1	0	1
III. Relación con el texto principal	III.1. Sí	8	17	9	15	12	3	13	7	7	12
	III.2. No	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
IV. Etiquetas verbales	IV.1. Sí	0	5	6	11	4	3	6	2	6	10
	IV.2. No	8	12	3	4	8	0	7	5	1	2
V. Color	V.1 Blanco y Negro	8	0	9	0	0	3	0	0	7	0
	V.2. Coloridas	0	17	0	15	12	0	13	7	0	12
VI. Modelo científico que las sustenta	VI.1. Ondas sinusoidales	0	6	3	5	2	0	4	0	3	2
	VI.3. Diagrama fasoriales	1	2	0	1	3	0	0	1	0	1
	VI.3. Secuencia de vectores eléctricos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	VI.4. No se enfatiza ningún modelo anterior	7	9	6	9	7	3	9	6	4	9
VII. Ambigüedades	VII.1. Sí	0	0	0	0	2	0	2	2	1	0
	VII.2. No	8	17	9	15	10	3	11	5	6	12

La “descripción” es la función didáctica de las imágenes que se presenta con mayor frecuencia en los LT analizados. El 42% de las ilustraciones de la muestra examinada, describe el dispositivo para producir el fenómeno de interferencia de la doble ranura de Young, ondas de luz en fase o fuera de fase con la misma amplitud y longitud de onda, el tren de ondas incidentes en la doble abertura, los frentes de ondas entre las aberturas y la pantalla, la interferencia constructiva o destructiva, el patrón de interferencia, etc. Otra función didáctica usada con asiduidad es la “definición”. En la muestra examinada el 37% de las ilustraciones se emplea para definir la construcción de Huygens para ondas coherentes, la interferencia constructiva o destructiva como superposición de ondas de luz coherente, la suma de fasores, etc. El 12% de las ilustraciones tiene una función didáctica de “interpretación”. En una ocasión se debe interpretar lo que se observaría en la pantalla de proyección empleando la teoría corpuscular de la luz o la teoría ondulatoria, en todos los demás casos, se debe interpretar el patrón de la intensidad de luz en función del ángulo de fase, la diferencia de camino óptico, el orden de magnitud, etc. Las ilustraciones que cumplen la función didáctica de “evocación” representan el 7% del total de ilustraciones y en todos los ejemplares remiten a la analogía bidimensional de la interferencia de ondas de agua contenidas en un tanque o en una cuba de ondas. Un bajo porcentaje, 2%, de las ilustraciones tiene una función didáctica de “aplicación”. Los dos casos clasificados como tales se encontraron en Young y Freedman (2009) (fig. 35.2: b y c, p. 1209), en ambas ocasiones se enfatiza y cuantifica la diferencia de camino óptico como condición para que se produzca la interferencia constructiva y la interferencia destructiva respectivamente. Por último, no existe en la muestra investigada ninguna ilustración cuya función sea la “problematización”.

Con relación al grado de iconicidad de las ilustraciones, los resultados revelan que más de la mitad de las ilustraciones (57%) son “esquemas”. El mayor número de esquemas presentes en un mismo LT es 11 y se halla en T4; en tanto que el menor número de las mencionadas ilustraciones es 2, presente en T1 y T6. Los “gráficos cartesianos” representan el 16% de las ilustraciones, siendo T2 el LT que muestra la mayor cantidad de ellos (7). Existen tres ejemplares (T3, T6, T9) que desarrollan el tema sin incluir ningún gráfico cartesiano. Los gráficos cartesianos, 9 de 16, aluden mayoritariamente al patrón de la intensidad de luz en función de diversas variables (T1, T2, T4, T5, T7, T8, T10) siendo T4 el único LT que presenta primero el modelo real asociado a la fotografía de un patrón de interferencia (fig. 34.9. a y b. p. 905- se muestra (b) en la fig. 1 (vi)-) y luego el modelo teórico (fig. 34.14, p. 909). El primero de ellos haría alusión al uso científico experimental y el segundo a un uso científico teórico (García, 2005). También se emplean gráficos cartesianos para referirse a la suma de ondas sinusoidales -en fase y fuera de fase- y a las líneas nodales y ventrales resultantes de la interferencia de dos fuentes puntuales y coherentes. Todos estos gráficos son bidimensionales, existiendo un solo gráfico tridimensional en Alonso y Finn (1976) (fig. 22.3, p. 889) que representa la superficie hiperbólica de revolución que se obtiene en el espacio cuando la diferencia de radios es igual a una constante y relaciona dicho gráfico con otro en el plano que muestra las hipérbolas de interferencia constructiva y destructiva. El 18% de las imágenes presentes en los LT seleccionados, corresponde a “fotos” y su variabilidad se limita a mostrar únicamente cuba de ondas y patrón de interferencia. Finalmente, dentro de esta categoría, la subcategoría “diagrama de fasores” es la de menor aparición porcentual en los ejemplares analizados (9%). Se aprecia que son sólo 9 diagramas incluidos en seis LT (T1, T2, T4, T5, T8, T10).

Todas las ilustraciones relativas a la experiencia de la doble rendija de Young presentes en la muestra de LT analizada, están “relacionadas con el texto principal” y el 74% del total de imágenes es “colorida”.

Respecto a la categoría “etiquetas verbales”, los resultados señalan que el 52% de las imágenes analizadas posee etiquetas. Dichos elementos, suelen ser expresiones verbales breves cuyo uso mayoritariamente es para señalar elementos de un esquema, posiciones de interferencia constructiva y destructiva, número de fuentes, definir simbólicamente relaciones entre variables, etc. Existe un solo LT donde la utilización de este recurso didáctico es notoria, puesto que las etiquetas verbales constituyen descripciones o aclaraciones extensas ya mencionadas en el texto principal. Así, por ejemplo, las palabras contenidas en las etiquetas verbales de la fig. 35.3 (Young y Freedman, 2009, p. 1210) totalizan 71.

El análisis del “modelo científico” que sustenta la ilustración revela que en la mayoría de ellas (67%) no se enfatiza ningún modelo. El modelo de ondas sinusoidales está presente en el 24% de las imágenes. El modelo de diagrama de fasores se muestra en el 9% de las ilustraciones. El modelo de secuencia de vectores eléctricos no se presenta en ningún ejemplar.

Las imágenes catalogadas como ambiguas, al parecer de los autores, totalizan 7, se distribuyen en 4 LT y son: fig. 41.5 y fig. 41.6 (Resnick, Halliday y Krane, 2002, p. 943 y p. 944), fig. 37.5 (a) y fig. 37.5 (b) (Serway y Jewett, 2009, p. 1054), fig. 33.8 (b) y fig. 33.8 (c) (Tipler, 1993, p. 1068) y fig. 22.4 (Wilson, Bufa y Lou, 2007, p. 762). En todas ellas, se representan las líneas que unen cada rendija con la pantalla de proyección con flechas, y en varios epígrafes se menciona la palabra “rayo” pudiendo ser motivo de confusiones de modelos científicos.

En la fig. 1 se exhibe una selección de imágenes características del fenómeno en estudio. En ella se muestra: (i) interferencia ondas de agua, (ii) ondas de luz en fase con la misma amplitud y longitud de onda (a y b) e interferencia constructiva (c), (iii) dos rendijas actuando como fuentes coherentes de luz, (iv) disposición experimental de Young, (v) diagrama de fasores y (vi) gráfico de intensidad luminosa en un patrón de interferencia. A manera de ejemplo y

por falta de espacio, se detalla la forma en que se categorizaron algunas. La interferencia de ondas de agua es una foto colorida cuya función es evocación, relacionada con el texto, no posee etiquetas verbales, no presenta ambigüedades y no resalta ningún modelo. Las dos ondas de luz en fase con la misma amplitud y longitud de onda y la interferencia constructiva de ellas se contabilizaron como tres imágenes, las dos primeras son descriptivas, en cambio la tercera define la suma de dichas ondas, todas corresponden a gráficos cartesianos, están relacionadas con el texto principal, no tienen etiquetas verbales, son coloridas y están sustentadas en el modelo de ondas sinusoidales sin ambigüedades. En la disposición experimental de Young se exhibe un esquema descriptivo, colorido, relacionado con el texto principal, sin etiquetas verbales que no enfatizan ningún modelo y catalogado como ambiguo por las flechas (“rayos”) empleados en r_2 y r_1 . Por último, el gráfico de intensidad luminosa corresponde a un diagrama cartesiano, cuya función es interpretar el patrón de intensidad luminosa real (uso experimental, pues acepta que el supuesto de uniformidad del patrón es un modelo idealizado y en la práctica la intensidad luminosa disminuye al aumentar el orden de magnitud), está relacionado con el texto principal, posee etiquetas verbales, es colorido, no se enfatiza ningún modelo y no posee ambigüedad.

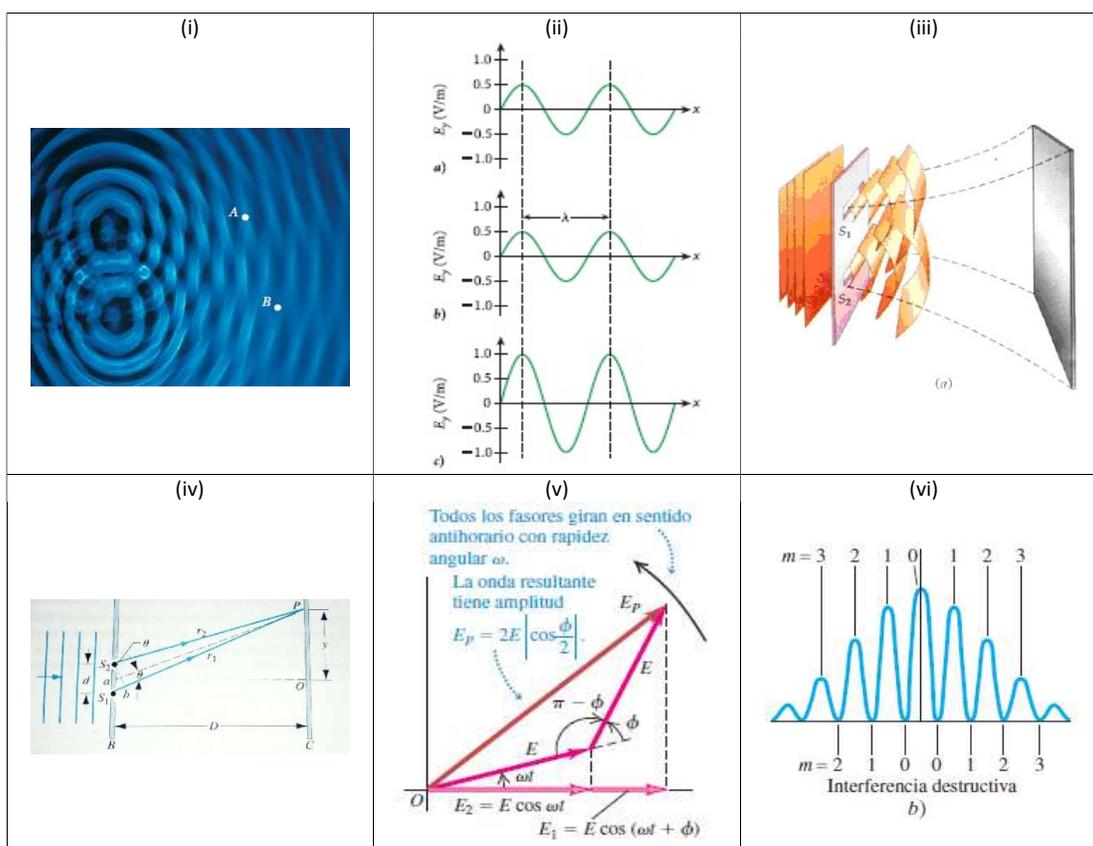


FIGURA 1. Selección de imágenes: (i) interferencia ondas de agua (Serway y Jewett, 2009, p. 1053), (ii) ondas de luz en fase con la misma amplitud y longitud de onda (a y b) e interferencia constructiva (c) (Bauer y Westfall, 2011, p. 1100), (iii) dos rendijas actuando como fuentes coherentes de luz (Tipler, 1993, p. 1069), (iv) disposición experimental de Young (Resnick, Halliday y Krane, 2002, p. 943), (v) diagrama de fasores (Young y Freedman, 2009, p. 1215) y (vi) gráfico de intensidad luminosa en un patrón de interferencia (Giancoli, 2009, p. 905).

VI. SÍNTESIS E IMPLICANCIAS PARA LA DOCENCIA

El análisis de las dos primeras filas de la tabla I, muestra que en este estudio no existe una relación directa entre el número de imágenes y el porcentaje de espacio que ocupan las ilustraciones con respecto al texto. Por ejemplo, T6 es el ejemplar que posee el mayor porcentaje de espacio ocupado por imágenes (36%), pero el número de imágenes (3) es menor que el número promedio de la muestra (10); y otro como T2 que siendo el ejemplar con mayor número de imágenes (17), ellas ocupan un espacio porcentual (28%) por debajo del promedio de la muestra.

Las imágenes de los LT analizados se utilizan mayoritariamente, para definir y describir empleando un discurso expositivo. Los porcentajes calculados para las funciones didácticas descripción y definición suman 79%. Estos resultados, concuerdan con otras investigaciones realizadas en el área de química (Matus *et al.*, 2008) y educación tecnológica (Díaz y Pandiella, 2007). El bajo porcentaje de las funciones interpretación (12%), evocación (7%) y aplicación (2%) y la inexistencia de imágenes con función problematización, daría cuenta del uso abusivo de “enunciados declarativos” característicos de los LT de ciencias, fomentaría una imagen de ciencia dogmática (Matus *et al.*, 2011) y dejaría una amplia gama de competencias sin estimular y desarrollar en los estudiantes.

De la categoría relacionada con el grado de iconicidad de las imágenes, se concluye que las tres cuartas partes de las mismas se concentran en foto y esquema. Las restantes se destinan a gráfico cartesiano y diagrama de fasores. La disparidad observada revelaría que prevalecen imágenes que pueden asociarse con lo que Strube (1989) denomina “explicaciones no justificadas” por sobre las “explicaciones indagativas”. Es de destacar que la totalidad de las ilustraciones -presentes en la muestra analizada- está al servicio del contenido abordado (Otero y Llano, 2019) y se relaciona con el texto principal; asimismo la mayoría de ellas (52%) contiene etiquetas verbales. El uso del modelo científico de ondas sinusoidales prevalece sobre el de diagrama de fasores, lo cual, a la luz de los resultados de la investigación realizada por Mešić *et al.* (2019) no facilitaría la comprensión del fenómeno físico.

La ambigüedad de ciertas imágenes y la incoherencia entre los códigos verbales y visuales no sólo dificultaría el aprendizaje (Mayer, 2005), sino que confirmaría, una vez más, que algunas imágenes, aunque sean erróneas y conlleven a concepciones igualmente equívocas de los fenómenos físicos, perduran a través de los años en los LT tal como lo demuestra Slisko (2005). La similitud entre ciertas imágenes analizadas ratificaría que la mayoría de los temas se enseñan habitualmente de la misma manera en prácticamente todos los LT (Martínez Bonafé, 2008). Esta cuestión se agrava cuando se observa, que algunas imágenes no son auto-evidentes ni transparentes o contienen excesiva información que dificultaría su decodificación, otras son ambiguas, por lo que es imprescindible guiar a los estudiantes en el proceso de interpretación para garantizar su comprensión. La lectura y la interpretación de las imágenes de LT que realizan los estudiantes universitarios es una línea prometedora para futuras investigaciones. Finalmente, se estima que es necesario promover más investigaciones centradas en los LT; se espera con este trabajo haber realizado una contribución en ese sentido.

REFERENCIAS

- Aguilera, D. y Perales, F. (2018). El libro de texto, las ilustraciones y la actitud hacia la ciencia del alumnado: percepciones, experiencias y opiniones del profesorado. *Enseñanza de las Ciencias*, 36(3), 41-58.
- 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.
- Alonso, E. y Finn, E. (1976). *Física. Vol. II Campos y ondas*. Barcelona. España: Fondo Educativo Interamericano.
- Ambrose, B., Shaffer, 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.
- Ambrose, B., Heron, P., Vokos, S. y McDermott, L. (1999). Student understanding of light as an electromagnetic wave: Relating the formalism to physical phenomena. *American Journal of Physics*, 67(10), 891-898.
- Ander-Egg, E. (2010). *Métodos y técnicas de investigación social: Cómo organizar el trabajo de investigación. Vol. III*. España: Lumen.
- Bardin, L. (1996). *El análisis de contenido*. Madrid: Akal.
- Bauer, W. y Westfall, G. (2011). *Física para Ingeniería y Ciencias con Física moderna. Vol. 2. (1.ª ed.)* México: McGraw Hill.
- Bravo, S. (2017). La experimentación en el aprendizaje de la física: su incidencia en la construcción de conceptos referidos a la óptica ondulatoria. Tesis Doctoral. UNCPB.
- Chevallard, Y. (2013). Enseñar Matemática en la Sociedad de Mañana. Alegato a Favor de un Contrapárramo emergente. *REDIMAT- Journal of Research in Mathematics Education*, 2(2), 161-182.

- Díaz, L. y Pandiella, S. (2007). Categorización de las ilustraciones presentes en libros de texto de Tecnología. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 6, 422-441.
- Galperín, D. y Raviolo, A. (2017). Análisis de imágenes relacionadas con día/noche, estaciones y fases lunares en textos de enseñanza primaria. *Revista Electrónica de Investigación en Educación en Ciencias*, 12, 1-11.
- Galperín, D., Raviolo, A., Prieto, L y Señorans, L. (2014). Análisis de imágenes presentes en textos de enseñanza primaria: día y noche y movimiento diario del Sol. *Revista Enseñanza de la Física*, 26, 121-129.
- García, J. (2005). El uso y el volumen de información en las representaciones gráficas cartesianas presentadas en los libros de texto de ciencias experimentales. *Enseñanza de las Ciencias*, 23(2), 81-199.
- Gettys, E., Keller, F. y Skove, M. (2005). *Física para Ciencias e Ingeniería. Tomo II*. México: McGraw Hill.
- Giacosa, N., Galeno, R, Zang, C., Maidana, J. y Such, A. (2019). Experimento de la doble rendija de Young: análisis de libros de texto universitarios. *Revista Enseñanza de la Física*, 31(Extra), 349-357.
- Giancoli, D. (2009) *Física para Ciencias e Ingeniería con Física moderna. Volumen II*. (4.^a ed.). México: Pearson Educación.
- Lee, V. (2010). Adaptations and Continuities in the Use and Design of Visual Representations in US Middle School Science Textbooks. *International Journal of Science Education*, 32(8), 1099-1126.
- Lemke, J. (1998). Multiplying Meaning: Visual and verbal semiotics in scientific text. En J. Martin y R. Veel (Eds.), *Reading science*. Londres: Routledge. 87-113.
- López, A. y Postigo, Y. (2014). Análisis de las imágenes del cuerpo humano en libros de texto españoles de primaria. *Enseñanza de las Ciencias*. 32, 551-570.
- Maldonado, F., González, F. y Jiménez, M. (2007). Las ilustraciones de los ciclos biogeoquímicos del carbono y nitrógeno en los textos de secundaria. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 4, 442-460.
- Martínez Bonafé, J. (2008). Los libros de texto como práctica discursiva. *RASE: Revista de la Asociación de Sociología de la Educación*, 1(1), 62-73.
- Matus, L., Benarroch, A. y Nappa, N. (2011). La modelización del enlace químico en libros de texto de distintos niveles educativos. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 10, 178-201.
- Matus, L., Benarroch, A. y Perales, F. (2008). Las imágenes sobre enlace químico usadas en los libros de texto de educación secundaria. *Enseñanza de las Ciencias*, 26, 153-176.
- Mayer, R. E. (2005). *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning*. Nueva York: Cambridge University Press.
- Melín, L. (2019). Ilustraciones en textos de Física: un análisis de ilustraciones respecto al cambio climático. *Revista de Enseñanza de la Física*, 31(extra), 123-131.
- Mešić, V., Neumann, K., Aviani, I., Hasović, E., Boone, W., Erceg, N., Grubelnik, V., Sušac, A., Glamočić, D., Karuza, M., Vidak, A. Alihodžić, A. y Repnik, R. (2019). Measuring students' conceptual understanding of wave optics: A Rasch modelling approach. *Physical Review Physics Education Research*, 15(1), 010115, 1-20.
- Otero, M. y Greca, I. (2004). Las imágenes en los textos de Física: entre el optimismo y la prudencia. *Caderno catariense de Ensino de Física*, (21)1, 35-64.
- Otero, M. y Llanos, V. (2019). Los libros escolares de matemática y física en Argentina entre 1961 y 2009. *IARTEM e-journal*, 11(1), 1-21
- 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.

Resnick, R., Halliday, D. y Krane, K. (2002). *Física. Vol. 2.* (5.^a ed. en inglés, 4.^a en español). México: Continental.

Rex, A. y Wolfson, R. (2011). *Fundamentos de Física.* España: Pearson Educación.

Rozentalski, E. y Porto, P. (2018). Diagramas de energia de orbitais em livros didáticos de Química Geral: uma análise sob o viés da semiótica Peirceana. *Ciência & Educação*, 24, 449-466.

Serway, R. y Jewett, J. (2009). *Física para ciencia e ingeniería con Física Moderna. Vol. 2.* (7.^a ed.) México: Cenage Learning.

Silva, M. y Monteiro, M. (2015). Abordagens imagético-verbais relacionadas à balança elétrica de Coulomb em livros didáticos de Física. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 32, 320-350.

Slisko, J. (2005). Errores en los libros de texto de física: ¿cuáles son y por qué persisten tanto tiempo? *Sinéctica, Revista Electrónica de Educación*, (27), 13-23.

Strube, P. (1989). The notion of style in physics textbooks. *Journal of Research in Science Teaching*, 26, 291-299.

Tipler, P. (1993). *Física. Tomo 2.* (3.^a ed.) España: Reverté.

Wilson, J., Bufa, A. y Lou, B. (2007). *Física.* (6.^a ed.) México: Pearson Educación.

Young, H. y Freedman, R. (2009). *Física universitaria con Física Moderna. Vol. 2.* (12.^a ed.). México: Pearson Educación.