

Trabajo: su conceptualización en libros de texto de física universitaria*

Work: its conceptualization in university Physics textbooks

Claudia Mariela Zang¹ y Norah Silvana Giacosa¹

¹Facultad de Ciencias Exactas, Químicas y Naturales, Universidad Nacional de Misiones, Félix de Azara 1553, CP 3300, Posadas, Argentina.

*E-mail: claudiamzang@gmail.com

Resumen

Se muestran resultados de un estudio descriptivo de casos múltiples. Se analiza el sistema simbólico y el sistema lingüístico usado para la conceptualización del tema trabajo en una muestra intencional de diez libros de texto universitarios de física, empleados frecuentemente en el ciclo básico de carreras científico-tecnológicas que se desarrollan en Argentina. Se empleó la técnica análisis de contenido para investigar la definición operacional de trabajo que se exhibe en los textos. Se detectaron algunas inconsistencias entre el sistema lingüístico y el sistema simbólico que podrían dificultar la comprensión del tema y ser fuente de complicaciones futuras cuando el concepto es usado en situaciones más complejas.

Palabras clave: Libros de texto; Física; Universidad; Trabajo.

Abstract

Results of a descriptive study of multiple cases are shown. The symbolic system and the linguistic system used for the conceptualization of the subject are analyzed in an intentional sample of ten university physics textbooks, frequently used in the basic cycle of scientific-technological careers developed in Argentina. The technique of content analysis was used to investigate the operational definition of work displayed in the texts. Some inconsistencies were detected between the linguistic system and the symbolic system that could make the understanding of the subject difficult and be a source of future complications when the concept is used in more complex situations.

Keywords: Textbooks; Physics; University; Work.

I. INTRODUCCIÓN

El libro de texto (LT de ahora en adelante) en Ciencias desempeña un rol determinante en la transmisión de conocimientos (Bachelard, 1965). En los últimos años se reconoció la necesidad e importancia de estudios ligados con el LT. Según Fernández y Caballero (2017), existen ámbitos específicos de estudio, investigación y circulación de saberes como son los centros de investigación en varios países: la Asociación Internacional para la Investigación de los Libros de Texto y los Medios de Comunicación Educativos (IARTEM) en Noruega; el Instituto George Eckert para la Investigación Internacional de Textos Escolares, en Alemania; el Instituto de Investigación de Libro de Texto, en Austria; el Instituto para la investigación del Texto Educativo, en Suecia; el Centro de Investigaciones del Libro de Texto, en Japón y el Centro de Investigación Manes en España.

*Realizado en el marco del Proyecto de investigación Código 16Q-661 registrado en la Secretaría de Investigación y Posgrado, FCEQyN (UNaM).

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

Se destaca que la preocupación por la influencia del LT en los procesos de instrucción se ha instalado, en particular, en la comunidad de investigadores en Enseñanza de la Física de la República Argentina. Esto se ve reflejado en que en los últimos Simposios de Investigación en Enseñanza de la Física (SIEF) y en las últimas Reuniones Nacionales de Educación en Física (REF) que organiza la Asociación de Profesores de Física de Argentina (APFA), se presentaron reportes de investigación, realizados con diferentes propósitos y desde diversas perspectivas, cuyo protagonista es, mayoritariamente, el LT universitario. Durante el período 2007-2018 la Revista Enseñanza de la Física (APFA) publicó 17 artículos. Mayores detalles pueden consultarse en Zang, Giacosa y Chrobak (2019).

Los LT universitarios de física comúnmente son adoptados en diversos cursos de carreras científico-tecnológicas, sirven de fuente de referencia para docentes y autores de LT para la Educación Secundaria y aparecen citados como bibliografía de consulta en los dispositivos curriculares de diferentes jurisdicciones. Así, tratamientos inadecuados, errores e imprecisiones, presentes en esas obras son reproducidos, con citación explícita o no de la fuente, en libros destinados al nivel medio. Esto repercute, indirectamente, en la responsabilidad que recae sobre los textos adoptados en cursos superiores.

Por otro lado, también se advierte sobre el impacto que tiene la industria editorial estadounidense, principalmente la dedicada a la comercialización de LT de Ciencias, en la calidad de la educación científica en estudiantes de Estados Unidos y de otros países. Se sugiere, tal como propone la Asociación Americana para el Avance de la Ciencia, promover el análisis de los LT y enviar las recomendaciones a los autores en lugar de a las editoriales, las cuales son consideradas corporaciones prácticamente impenetrables (Abd-El-Khalick *et al.*, 2017).

Este trabajo se deriva de resultados obtenidos en una investigación, realizada en el marco de una Tesis de Maestría, sobre el trabajo, la energía y el principio de conservación de la energía en LT universitarios comúnmente usados en Argentina. El objetivo de este artículo es describir cómo se conceptualiza el trabajo en diez LT universitarios de física analizando el sistema simbólico, el sistema lingüístico y las traducciones que se realizan entre ambos. Además; se pretende describir y determinar si las representaciones mostradas como figuras son explicadas y están relacionadas con el resto de la información proporcionada en el texto escrito.

II. ENCUADRE Y ANTECEDENTES

Numerosos estudios se han centrado en las características que debiera tener un texto escrito para facilitar la comprensión y, en consecuencia, el aprendizaje. La especificidad de los LT utilizados en ciencia ha sido reconocida desde hace tiempo. Este trabajo asume, con Lemke (1997), que aprender a hablar ciencia es un proceso similar al del aprendizaje de cualquier lengua extranjera. En el contexto social familiar, las personas aprenden a hablar el lenguaje cotidiano, y solo en la escuela se enseña a hablar y escribir en lenguaje científico. Este se caracteriza por un vocabulario específico, de elevada precisión y que entraña dificultades, dado que, para explicar hechos observables, frecuentemente se debe referir a entidades no observables, es decir, a un modelo (Sanmartí, Izquierdo y García, 1999).

Alexander y Kulikowich (1994) describen algunos textos como faltos de cohesión y estructura apropiadas, lo que incrementa las demandas de procesamiento para los lectores. Señalan que los LT de física pueden ser catalogados como “bilingües”: el lector debe moverse mentalmente entre un sistema simbólico (matemático y científico) y un sistema lingüístico. El lingüístico está conformado por las expresiones verbales que describen los fenómenos físicos; el simbólico está constituido por las representaciones como ecuaciones, gráficos, esquemas y diagramas.

Existen investigaciones que critican los enfoques presentes en los LT. Bauman (1992a, 1992b) cuestiona la enseñanza tradicional de ciertos tópicos de física y afirma categóricamente que sus autores se equivocan en algunos de los tratamientos que presentan. Además, plantea que los LT contienen importantes inconsistencias, a menudo en forma de simplificaciones, y también por una falta de atención adecuada al definir los términos.

Por su parte, Mungan (2005) señala que el trabajo siempre se define como la integral de una fuerza sobre un desplazamiento. Afirma, en concordancia con Jewett (2008a), que los estudiantes deben ser llevados a considerar conscientemente qué fuerzas y qué desplazamientos están involucrados en dicha definición. Dependiendo del contexto, sugiere que se les pregunte si la fuerza es interna o externa, conservativa o no conservativa, de campo (acción a distancia) o de contacto, fuerzas aleatorias (térmicas) u organizadas. Similarmente, propone que, para el caso de los desplazamientos, las opciones relevantes son: si este es el del centro de masa o el del punto de aplicación de la fuerza y, si es desplazamiento traslacional o angular. Indica, además, que se debe señalar explícitamente que, para una partícula, el trabajo sobre el centro de masa, también denominado pseudo-trabajo (Arons, 1989; Penchina, 1978, Sherwood, 1983), es igual al trabajo sobre la partícula. Solo para los objetos que pueden rotar, deformarse o sufrir cambios irreversibles, el trabajo del centro de masa y el de partículas proporcionan información distinta y complementaria sobre el comportamiento de un sistema. Concluye que ambos tipos de trabajo deben presentarse, en un curso introductorio, puesto que brindan una visión equilibrada del universo mecánico.

En cambio, Jewett (2008a), plantea que no es adecuado incluir el estudio del concepto de pseudo-trabajo pues, a su juicio, confunde a los estudiantes. Además, señala que muchas veces se interpreta de manera ambigua al desplazamiento que interviene en la definición de trabajo y que esta vaguedad conduce a dificultades cuando los estudiantes se encuentran con fuerzas de fricción o aplicadas a objetos deformables o giratorios. En concordancia con Bauman (1992a), afirma que surgen inconsistencias adicionales en el tratamiento que se da al trabajo de la fricción porque no se establece adecuadamente que este trabajo no está definido de manera operacional. Mallinckrodt y Left (1992) plantean que la definición de trabajo en términos de fuerza y desplazamiento, solo está bien definida cuando la fuerza actúa en una partícula puntual o en cuerpos rígidos en movimiento de traslación. Por el contrario, esta definición es insuficiente cuando la mecánica se extiende a un dominio de la "vida real" que involucra objetos macroscópicos con modos de energía interna y disipación. Consideran que es necesario discutir situaciones que deban ser encaradas trazando puentes entre la mecánica pura y la termodinámica.

III. METODOLOGÍA

La metodología empleada corresponde a un estudio descriptivo de casos múltiples. Se utilizó una muestra intencional de LT que fueron estudiados empleando técnicas de análisis de contenido (Bardin, 1996).

Para la selección de la muestra se tuvo en cuenta que los LT: a) estén disponibles en la biblioteca de la Facultad de Ciencias Exactas, Químicas y Naturales de la Universidad Nacional de Misiones; b) estén incluidos en la bibliografía recomendada en los programas analíticos de asignaturas del área de Física; y, c) el autor no se repita y su edición sea la más actual posible. En la tabla I se muestra el código asignado (CO) y los datos de cada ejemplar, ordenados alfabéticamente según el apellido del primer autor.

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

CO	Libros de texto
A	Alonso, E. y Finn, E. (1976) <i>Física. Vol. I. Mecánica</i> . Barcelona, España: Fondo Educativo Interamericano.
B	Gettys, E., Keller, F. y Skove, M. (2005) <i>Física para Ciencias e Ingeniería. Tomo I</i> . México: McGraw Hill.
C	Giancoli, D. (2009) <i>Física para ciencias e ingeniería con física moderna. Volumen I</i> . 4. ^a ed. México: Pearson Educación.
D	Hewitt, P (2004) <i>Física Conceptual</i> . 9. ^a ed. México: Pearson Educación.
E	Resnick, R.; Halliday, D. y Krane, K. (2011). <i>Física. Vol. 1</i> . 5. ^a ed. México: Grupo Editorial Patria.
F	Serway, R. y Jewett, J. (2009) <i>Física para ciencia e ingeniería con Física Moderna. Vol. 1</i> . 7. ^a ed. México: Cenage Learning.
G	Tipler, P. (1993) <i>Física. Tomo 1</i> . 3. ^a ed. España: Reverté.
H	Tippens, P. (2007) <i>Física, conceptos y aplicaciones</i> . 7. ^a ed. Perú: McGraw Hill.
I	Wilson, J., Bufa, A. y Lou, B. (2007) <i>Física</i> . (6. ^a ed.) México: Pearson Educación.
J	Young, H. y Freedman, R. (2009) <i>Física universitaria con Física Moderna. Vol. 1</i> . (12. ^a ed.). México: Pearson Educación.

Las fases del proceso de análisis de contenido se circunscribieron a preanálisis, exploración del material y tratamiento de resultados e interpretaciones. La información obtenida durante el preanálisis se procesó mediante palabras claves y tablas que posibilitaron identificar con facilidad el ejemplar y la página del mismo de donde fueron extraídas. La exploración sistemática y la relectura permitieron reconocer ciertas regularidades y los referentes citados posibilitaron definir tres variables:

- V1. Presentación de la definición de trabajo.
 1. Definición operacional;
 2. Transferencia de energía;
- V2. Simbología empleada.
 1. Letras;
 2. Notación en términos de incrementos;
 3. Notación diferencial.
- V3. Interpretación del desplazamiento involucrado en la definición.
 1. Objeto;
 2. Punto de aplicación de la fuerza;
 3. No se especifica.

IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

La tabla II muestra con una x la presencia de subvariables identificadas en el análisis de los LT, el espacio vacío corresponde a la ausencia de la misma en el ejemplar.

TABLA II. Variables y subvariables de análisis.

Variables	Subvariables	Libros de texto										Total
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	
V1. Presentación de definición	V1.1. Definición operacional	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	10
	V1.2. Transferencia de energía				x	x	x	x		x		5
V2. Simbología utilizada para denotar a las variables en la definición operacional	V2.1. Letras		x	x	x	x			x	x	x	7
	V2.2. Notación en términos de incrementos						x	x				2
	V2.3. Notación diferencial	x										1
V3. Interpretación del desplazamiento que interviene en la definición	V3.1. Objeto	x	x	x	x					x	x	6
	V3.2. Punto de aplicación de la fuerza					x	x	x				3
	V3.3. No se especifica								x			1

A. Acerca de la definición de trabajo y de la simbología empleada para su formulación

Dada la interrelación entre las dos primeras variables, se presentarán unificados en un solo apartado los resultados referentes a las mismas.

Con respecto a la presentación de definición, en todos los libros revisados, se inicia el desarrollo de los temas del capítulo con una definición operacional de trabajo. En algunos (E, I, J) se considera en primer lugar el caso de una fuerza constante que actúa sobre un objeto ocasionándole un desplazamiento en la misma dirección de esta, después se generaliza para el caso en que la fuerza se aplica con un ángulo arbitrario con respecto al desplazamiento. En otros (B, C, G, H) se presenta directamente esta segunda situación y se define el trabajo como el producto entre el desplazamiento y la componente de la fuerza paralela al desplazamiento. Además, en la mayoría (A, B, C, E, F, G, J) se presenta la generalización que ofrece el producto escalar de vectores.

Además de definiciones operacionales, en cinco ejemplares (D, E, F, G, I) se explicita que el trabajo es una transferencia de energía. Por ejemplo, en D se señala: “*El trabajo no es una forma de energía, sino una forma de transferir energía de un lugar a otro, o de una forma a otra*” (Hewitt, 2004, p. 110). En F se afirma: “*Una consideración importante para un enfoque de sistema a los problemas es que el trabajo es una transferencia de energía*” (Serway y Jewett, 2009, p. 166). En tanto que en I se afirma que “*el trabajo es una medida de la transferencia de energía cinética*” (Wilson, Bufa y Lou, 2007, p. 149) y no se hace extensiva esta definición a la energía en general. En E y en G, se hacen aseveraciones lingüísticas que sugieren que solo hay dos mecanismos de transferencia de energía: trabajo y calor. Estos planteos –si bien no son erróneos- son incompletos, porque no contemplan otras transferencias de energía, como la que ocurre con la propagación de una onda (Jewett, 2008b).

Así pues, tenemos otra definición de trabajo:

El trabajo es una forma de transferir energía a un cuerpo, o de un cuerpo debido a una fuerza que actúa sobre él.

Hay otra modalidad de transferir energía entre objetos, que nace de una diferencia de temperatura entre ellos. A este tipo de transferencia se le llama calor, y se explica en el capítulo 13. (Resnick, Halliday y Krane, 2011, p. 240).

Las formas en que cambia la energía total de un sistema se pueden clasificar en dos categorías: trabajo y calor. La energía total cambia si las fuerzas externas realizan trabajo sobre el sistema o bien si a causa de la diferencia de temperatura entre el sistema y su entorno se transfiere energía. (La energía transportada como consecuencia de una diferencia de temperatura se denomina calor). (Tipler, 1993, p. 171)

Con respecto a la notación utilizada, en H se utiliza la letra W para identificar el peso de un objeto, mientras que en los demás libros se la utiliza para denotar al trabajo. Además, ni en el desarrollo de los temas ni en los ejemplos propuestos se utiliza símbolo alguno para el trabajo: siempre se escribe la palabra “trabajo” en las expresiones que se plantean (se mezcla el sistema lingüístico y el simbólico). Además, para formular de manera simbólica la definición operacional de trabajo, en todos los ejemplares se utiliza la letra F para denotar la magnitud de la fuerza, sin embargo, no hay uniformidad en la simbología que denota la magnitud del desplazamiento. Así, en A se utiliza la notación diferencial (dr), en F y G se lo hace en términos de incrementos (Δr y Δx , respectivamente) y, más avanzado el capítulo,

en G también se lo escribe considerando la notación diferencial. En los demás se usan diferentes letras para denotar los desplazamientos: ℓ (B), x (H), d (C, D, I) y s (E, J). Más avanzado el desarrollo del tema, generalmente cuando se aborda el trabajo de una fuerza variable o de una trayectoria curva, en casi todos se utiliza la notación diferencial dado que se define el trabajo en términos de la integral de línea, por ello aquí solo se contempló cual es la notación al momento de introducir el concepto.

En lo que respecta a los esquemas (que forman parte del sistema simbólico) que acompañan a la definición, en casi todos se incluyen objetos extensos (como por ejemplo bloques, cajas, bolsas de comestibles, entre otros) y que son trabajados matemáticamente como si fueran objetos puntuales. En A, es el único de los ejemplares analizados, en el que al momento de introducir el concepto de trabajo a través de la expresión (1), la partícula que se está desplazando se representa mediante un punto. En tres ejemplares (B, C, G), esta representación se utiliza en secciones posteriores del capítulo, cuando se generaliza la definición de trabajo mediante la integral dada en la ecuación (1).

$$W = \int_A^B \vec{F} \cdot d\vec{r} = \int_A^B F_T ds \quad (1)$$

Si bien las notaciones empleadas son algo diferentes, casi todas las expresiones que definen operacionalmente el trabajo tienen la misma estructura: el producto escalar entre los vectores fuerza y desplazamiento (o sea el producto de la magnitud de la fuerza, la magnitud del desplazamiento y del coseno del ángulo comprendido entre ellos). En un ejemplar (F), si bien el trabajo se define mediante una expresión simbólica morfológicamente parecida a las presentadas en los demás libros de texto, la interpretación que se ofrece de la ecuación es algo distinta. Para estos autores,

El trabajo W invertido sobre un sistema por un agente que ejerce una fuerza constante es el producto de la magnitud F de la fuerza, la magnitud Δr del desplazamiento del punto de aplicación de la fuerza y $\cos \theta$, donde θ es el ángulo entre los vectores fuerza y desplazamiento $W = F\Delta r \cos \theta$ (7.1). (Serway y Jewett, 2009, p. 165)

Es decir, aquí el trabajo no se realiza sobre “una partícula” como se los presenta en los demás textos, sino sobre “un sistema” (expresiones simbólicas similares tienen descripciones lingüísticas distintas). Mientras que en todos los demás ejemplares se presentan afirmaciones como el trabajo “realizado o efectuado por una fuerza”, en este texto se habla de trabajo “invertido o consumido por una fuerza”.

En un ejemplar (D) se define el trabajo como el producto de la fuerza por la distancia que recorre el objeto para el caso de una fuerza constante que actúa en la dirección del movimiento; y mediante una nota al pie de página, el autor establece que: “En el caso más general, el trabajo es el producto solo de la componente de la fuerza que actúa en dirección del movimiento, por la distancia recorrida...” (Hewitt, 2004, p.105). Aquí hay que resaltar que esta enunciación no es de validez general, puesto que para un objeto que se mueve en una trayectoria curva, la distancia (longitud de la trayectoria), podría ser bastante diferente de la magnitud del desplazamiento del objeto. En A también se afirma que “...trabajo = fuerza \times distancia, que es la expresión encontrada en textos elementales” (Alonso y Finn, 1976, p. 206). Sin embargo, los autores la presentan como un caso particular que se obtiene de la definición general de trabajo presentada en la ecuación (1) al considerar la fuerza F constante (en magnitud y dirección) y un cuerpo moviéndose en línea recta. En G se utiliza la misma expresión como puede notarse en la siguiente cita: “Si la fuerza es constante, en una sola dimensión el trabajo realizado es igual a la fuerza multiplicada por la distancia” (Tipler, 1993, p. 141), pero aclarándose las condiciones en que se verifica dicha proposición.

B. Acerca de la interpretación del desplazamiento en la definición operacional de trabajo

Con respecto a la interpretación del desplazamiento que interviene en la definición operacional de trabajo, si bien se utilizan expresiones que estructuralmente son similares, estas no están libres de ambigüedades y contradicciones en algunos casos. Las ambigüedades surgen porque no siempre se explicita cuál es el desplazamiento involucrado en la misma. En la mayoría (A, B, C, D, I, J), a través del sistema lingüístico, se indica que se trata del desplazamiento del “objeto”. Un ejemplo representativo se muestra en la figura 1 (a). En algunos (E, F, G), se señala que se trata del desplazamiento del “punto de aplicación de la fuerza” (figura 1 (b)).

En H no se especifica qué es lo que se desplaza. Sin embargo, a través de un esquema que brinda información adicional y que no se desarrolla en el texto, se infiere que se trata del desplazamiento del punto de aplicación de la fuerza (figura 2(b) original del LT)).

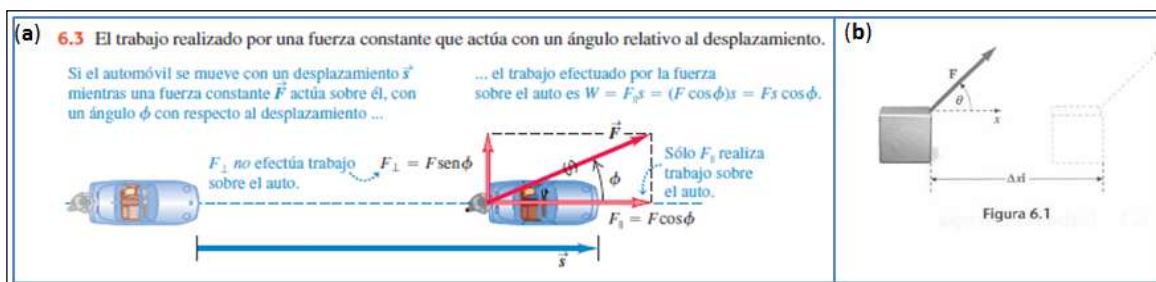


FIGURA 1. El desplazamiento en la definición del trabajo es: (a) el del objeto (Young y Freedman, 2009, p. 183). (b) el del punto de aplicación de la fuerza (Tipler, 1993, p. 142).

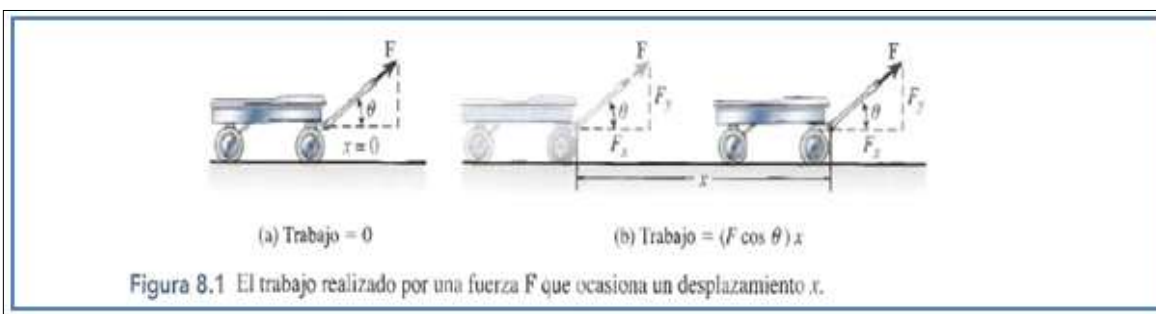


FIGURA 2. Imagen que completa la descripción verbal que no especifica qué es lo que se desplaza. De ella se infiere que el desplazamiento es el del punto de aplicación de la fuerza, extraída de Tippens (2007, p. 158).

Las contradicciones se originan porque no logran integrarse adecuadamente los sistemas lingüístico y simbólico, ni la coherencia entre el texto principal y las figuras. En algunos ejemplares analizados se presentan enunciados en el texto principal en los que se declara que el *desplazamiento que interviene es el del objeto*, en tanto que algunas de las imágenes y señalamientos de distancias utilizadas para representar esquemáticamente diversas situaciones, insinúan que se trata del *desplazamiento del punto de aplicación de la fuerza*.

Por ejemplo, en la figura 3 (a), el epígrafe indica: “6.2. El trabajo realizado por una fuerza constante que actúa en la misma dirección del desplazamiento” y en las notas se señala: “Si un cuerpo se mueve con un desplazamiento s mientras una fuerza constante \vec{F} actúa sobre él en la misma dirección” “...el trabajo realizado por la fuerza sobre el cuerpo es $W = Fs$ ” y se señala como s el desplazamiento del cuerpo, en concordancia con lo desarrollado previamente en el texto principal. Sin embargo, del esquema se infiere que se trata del desplazamiento del punto de aplicación de la fuerza. En cambio, en la figura 3 (b), el epígrafe señala: “figura 7.12. Un objeto que se somete a un desplazamiento $\Delta\vec{r} = \Delta x\vec{i}$ y un cambio en la velocidad bajo la acción de una fuerza neta constante $\Sigma\vec{F}$ ” dejando explícito que lo que se desplaza es el objeto. No obstante, en este mismo ejemplar, se señaló –en páginas anteriores, específicamente en el texto principal– que el desplazamiento correspondía al del punto de aplicación de la fuerza. En síntesis, en la figura 3 a) hay coherencia entre el texto principal, el epígrafe y las notas, pero no así con lo que sugiere el esquema. En tanto que en la figura 3 b) hay contradicción entre la descripción de la figura y el texto principal, pero no entre los elementos que componen la ilustración.

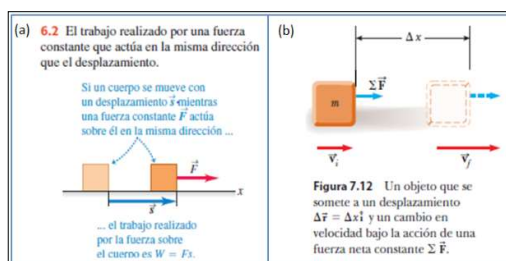


FIGURA 3. (a) Imagen que sugiere que el desplazamiento es el del punto de aplicación de la fuerza (Young y Freedman, 2009, p. 182). (b) Imagen que sugiere e indica, en el epígrafe, que el desplazamiento es el del objeto (Serway y Jewett, 2007, p. 174).

En tres ejemplares (B, C y F), en algunos de los esquemas que acompañan la descripción verbal, se representa el desplazamiento como un vector cuyo origen se encuentra en la posición que ocupa originalmente el centro de masa (esquema ilustra un objeto extenso) y cuyo extremo corresponde a la nueva posición del centro de masa del objeto que se mueve. En B y en F, además se señalan que la fuerza se aplica en el centro de masa del objeto. Estas situaciones se muestran en la figura 4 (a), (b) y (c).

Es de hacer notar que las imágenes de las figuras 4 (a) y (b) están acompañadas de epígrafes que no ofrecen información adicional sobre cómo interpretar las expresiones simbólicas que se exponen. En tanto que en (c), aun cuando sea visualmente equivalente a (b), la ambigüedad desaparece porque los autores incluyen un epígrafe que orienta en la interpretación de la imagen.

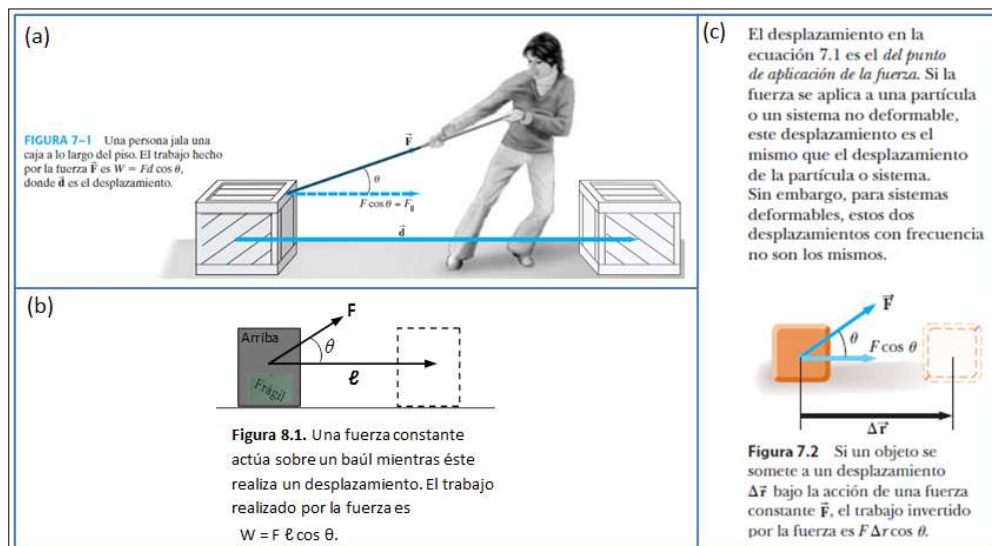


FIGURA 4. (a) Imagen en la que el desplazamiento que interviene puede ser interpretado como el del centro de masa (Giancoli, 2009, p. 164); (b) Hay ambigüedad en la imagen dado que admite dos interpretaciones para el desplazamiento: como el del centro de masa o como el del punto de aplicación de la fuerza aplicada en el centro de masa (Gettys, Keller y Skove, 2005, p. 164); (c) Pese a la similitud visual con (b), la ambigüedad de la imagen desaparece porque se incluye un epígrafe con una explicación que guía su interpretación (Serway y Jewett, 2009, p. 165).

V. REFLEXIONES FINALES

En lo que respecta a la definición operacional, la simbología es homogénea en cuanto a fuerza se refiere, pero es heterogénea en lo relativo al desplazamiento. En lo relativo a la formulación matemática de la definición, pese a que casi todas las expresiones que lo definen operacionalmente tienen la misma estructura, las notaciones empleadas son algo diferentes. En algunos, esto se realiza empleando letras, la notación de incrementos; y en otros, apelando a la formalización que provee el cálculo integral. Se sugiere que el empleo de la notación en términos de diferenciales (esto es definir el trabajo en términos de la integral de línea) redundaría en la posibilidad de extender de manera natural el concepto a casos más generales que incluyen fuerzas variables o trayectorias curvas.

Por otro lado, se observó que se emplean nomenclaturas iguales para representar distintas variables. En relación a esto, en un ejemplar (Tippens, 2007) se utiliza la letra W para referirse al peso, cuando en los demás esta señala al trabajo. En ese mismo ejemplar no se encontró símbolo alguno para el trabajo. Resultados similares fueron encontrados en el tratamiento dado a otros conceptos físicos (Giacosa, Galeano, Zang, Maidana y Such, 2019). De ello se desprende que el sistema simbólico empleado no es uniforme.

Como ya se mencionó, la estructura matemática de la definición operacional de trabajo es semejante en todos los textos. Sin embargo, en lo que a la interpretación del desplazamiento concierne, hubo importantes diferencias. En algunos libros se indica que este corresponde al del punto de aplicación de la fuerza, en otros se lo entiende como el desplazamiento del objeto; en uno (Hewitt, 2004) se lo interpreta como la distancia recorrida por el objeto, pese a que esto no es un resultado de validez general. También se encontró que en un libro (Tippens, 2007) esta información no se explicita, sino que tiene que ser inferida por el lector a partir de información complementaria, que se omite en el texto principal, pero que se exhibe en un esquema que lo acompaña. Según Jewett (2008a), la no identificación

precisa del desplazamiento podría ser fuente de complicaciones dado que el desplazamiento del centro de masa del sistema puede ser diferente del desplazamiento del punto de aplicación de la fuerza. Se concluye, en acuerdo con Sliško (2005, p. 14), que “*es fácil ponerse de acuerdo sobre el manejo matemático de fórmulas, pero, en ocasiones, es realmente difícil hacerlo sobre su significado*”.

Además de estas ambigüedades debidas a explicitaciones inadecuadas del significado del desplazamiento que interviene en la definición operacional de trabajo, se detectaron contradicciones que aparecen cuando no se logra integrar adecuadamente los sistemas lingüístico y simbólico. Por un lado, las aseveraciones lingüísticas acerca de cómo interpretar el desplazamiento, a veces, no coinciden con lo que se infiere de las imágenes que forman parte del sistema simbólico. En particular, en un ejemplar se detectó que, en la parte principal del texto, coloquialmente se afirma que se trata del desplazamiento del objeto y en varias de las imágenes, se desliza que este es el del punto de aplicación de la fuerza (Young y Freedman, 2009). En otro, se da la situación inversa, expresamente se manifiesta que el desplazamiento se debe entender como el del punto de aplicación de la fuerza y, sin embargo, en algunas imágenes se sugiere que es el objeto el que se desplaza (Serway y Jewett, 2007). Algunos de los epígrafes que acompañan a las imágenes incorporan información pertinente que hace que estas ambigüedades desaparezcan y, paralelamente, guían al lector en la interpretación de las mismas. En otras ocasiones, los epígrafes no aportan información relevante, dado que son escuetos y sobre-simplificados.

De las omisiones detectadas se desprende que los recortes y las simplificaciones realizados no siempre se traducen en descripciones adecuadas de los fenómenos. Se coincide con la comunidad de investigadores en enseñanza de la física en que las simplificaciones presentes en los libros de textos para el desarrollo de los conceptos físicos en general son controvertidas (Forjan y Sliško, 2014; Giorgi, Cámara, Marino y Carreri, 2014; Marino, Giorgi, Cámara y Carreri, 2016; Giorgi, Cámara, Marino, Carreri y Bonazzola, 2017).

REFERENCIAS

- Abd-El-Khalick, F., Myers, J., Summers, R., Brunner, J., Waight, N., Wahbeh, N. y Belarmino, J. (2017). A longitudinal analysis of the extent and manner of representations of nature of science in US high school biology and physics textbooks. *Journal of Research in Science Teaching*, 54(1), 82–120.
- 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. I. Mecánica*. Barcelona, España: Fondo Educativo Interamericano.
- Arons, A. (1989). Developing the energy concepts in introductory physics. *The Physics Teacher*, 27, 506-517.
- Bachelard, G. (1965). *L'activité rationaliste de la physique contemporaine*. Paris: P.U.F.
- Bardin, L. (1996). *El análisis de contenido*. Madrid: Akal.
- Bauman, R. (1992a). Physics that textbook writers usually get wrong. *The Physics Teacher*, 30(5), 264-269.
- Bauman, R. (1992b). Physics that textbook writers usually get wrong: II. Heat and energy. *The Physics Teacher*, 30(6), 353-356.
- Fernández, M. y Caballero, P. (2017). 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(1), 201-217.
- Forjan, M. & Sliško, J. (2014). Simplifications and idealizations in high school physics in thermodynamics, electricity and waves: A study of Slovenian textbooks. *Latin American Journal of Physics Education*, 8(2), 241-247.
- Gettys, E., Keller, F. y Skove, M. (2005.) *Física para ciencias e ingeniería. Tomo I. 2.ª ed.* 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, 349-357.

- Giancoli, D. (2009). *Física para ciencias e ingeniería con física moderna. Volumen I*. 4.ª ed. México: Pearson Educación.
- Giorgi, S., Cámara, C., Marino, L., y Carreri, R. (2017). La complejidad de las simplificaciones en la enseñanza de la mecánica en el ciclo inicial universitario: el caso del tratamiento de las poleas en libros de texto. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 34(2), 414-434.
- Giorgi, S., Cámara, C., Marino, L., Carreri, R., y Bonazzola, M. (2014). Análisis de contenidos de Mecánica en libros de texto utilizados en la enseñanza de la Física en el ciclo inicial de carreras universitarias. *Revista de Enseñanza de la Física*, 26(2), 145-156.
- Hewitt, P. (2004). *Física Conceptual*. 9.ª ed. México: Pearson Educación.
- Jewett Jr, J. W. (2008a). Energy and the Confused Student I: Work. *The Physics Teacher*, 46(1), 38-43.
- Jewett Jr, J. W. (2008b). Energy and the Confused Student III: Language. *The Physics Teacher*, 46(3), 149-153.
- Lemke, J. L. (1997). *Aprender a hablar ciencias. Lenguaje, aprendizaje y valores*. Barcelona: Paidós.
- Mallinckrodt, A. J. y Leff, H. S. (1992). All about work. *American Journal of Physics*, 60(4), 356-365.
- Marino, L., Giorgi, S., Cámara, C., y Carreri, R. (2016). Hipótesis simplificadoras que pueden obstaculizar la comprensión de la Mecánica en el ciclo inicial universitario: el tratamiento de cuerdas inextensibles y de masas despreciables en libros de texto. *Revista de Enseñanza de la Física*, 28, 127-136.
- Mungan, C. E. (2005). A primer on work-energy relationships for introductory physics. *The Physics Teacher*, 43(1), 10-16.
- Penchina, C.M. (1978). Pseudowork-energy principle. *American Journal of Physics*, 46, 295-296.
- Resnick, R., Halliday, D. y Krane, K. (2011). *Física. Vol. 1*. 5.ª ed. México: Grupo Editorial Patria.
- Sanmartí, N., Izquierdo, M. y García, P. (1999). Hablar y escribir: Una condición necesaria para aprender ciencias. *Cuadernos de Pedagogía*, 281, 54-58.
- Serway, R. y Jewett, J. (2009). *Física para ciencia e ingeniería con Física Moderna. Vol. 1*. 7.ª ed. México: Cengage Learning.
- Sherwood, B.A. (1983). Pseudowork and real work. *American Journal of Physics*, 51, 597-602.
- Sliško, J. (2005). Errores en los libros de texto de física: ¿cuáles son y por qué persisten tanto tiempo? *Sinéctica*, (27), 13-23.
- Tipler, P. (1993). *Física. Tomo 1*. 3.ª ed. España: Reverté.
- Tippens, P. (2007). *Física, conceptos y aplicaciones*. 7.ª ed. Perú: McGraw Hill.
- Wilson, J., Bufo, A. y Lou, B. (2007). *Física*. 6.ª ed. México: Pearson Educación.
- Young, H. y Freedman, R. (2009). *Física universitaria. Vol. 1*. 12.ª ed. México: Pearson Educación.
- Zang, C., Giacosa, N. y Chrobak, R. (2019). El contenido científico en libros de textos: una revisión en revistas de acceso libre. *Latin American Journal of Physics Education*, 13(3), 3305-1-3305-23.