

# Fuerzas conservativas: su abordaje en libros de texto de física universitaria

Conservative forces: its approach in university Physics textbooks

Claudia Mariela Zang<sup>1</sup> y Norah Silvana Giacosa<sup>1</sup>

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

\*E-mail: [claudiamzang@gmail.com](mailto:claudiamzang@gmail.com)

## Resumen

Se muestran resultados de un estudio descriptivo de casos múltiples. Se analiza la presentación del tema fuerzas conservativas en una muestra intencional de diez libros de texto de física de nivel universitario, empleados frecuentemente en el ciclo básico de carreras científico-tecnológicas que se desarrollan en Argentina. Se empleó la técnica análisis de contenido para investigar cómo se define el carácter conservativo o no conservativo de una fuerza. Se detectó que en la mayoría de los libros se presentan simultáneamente varias definiciones de fuerzas conservativas y se explicita la equivalencia de las mismas. Los ejemplos típicos abordados son la fuerza de fricción como representante de las no conservativas y las fuerzas de gravedad y la elástica, de las conservativas, soslayando el carácter conservativo o no de otras fuerzas que se utilizan constantemente en la bibliografía, estas omisiones podrían influir en la comprensión del tema en términos científicos.

**Palabras clave:** Libros de texto; Física; Universidad; Fuerzas conservativas.

## Abstract

Results of a descriptive study of multiple cases are shown. The presentation of the theme conservative forces is analyzed in an intentional sample of ten university physics textbooks, frequently used in the basic cycle of scientific-technological careers that are developed in Argentina. The content analysis technique was used to investigate how the conservative or non-conservative character of a force is defined. It was detected that in most books several definitions of conservative forces are presented simultaneously and their equivalence is made explicit. The typical examples addressed are the friction force as a representative of the non-conservatives and the forces of gravity and the elasticity of the conservatives, ignoring the conservative nature or not of other forces that are constantly used in the bibliography, these omissions could influence the understanding of the topic in scientific terms

**Keywords:** Textbooks; Physics; University; Conservative force.

## I. INTRODUCCIÓN

Aprender es construir y organizar conceptos y significados. Desde esta perspectiva, el proceso de construcción, revisión y reconstrucción, que es promovido por la enseñanza, puede ser favorecido en los estudiantes con el uso de materiales didácticos adecuados. Según Chevallard (1991), una parte importante del proceso instruccional y del proceso de transposición didáctica se realiza a través de los manuales escolares. El papel determinante que tiene el libro de texto (en adelante, LT) de ciencias en la transmisión de conocimientos, fue reconocido hace bastante tiempo por Bachelard (1965). Además, en consonancia con lo planteado por de Pro Bueno (2003), se asume que el material de lectura condiciona fuertemente el aprendizaje y que no siempre las explicaciones presentes en los LT son suficientemente claras para facilitar la construcción de conocimientos.

Sin lugar a dudas, se puede afirmar que el interés por la influencia del LT en la enseñanza ha ido ganando terreno en la investigación. Esto se refleja en el hecho de que en los últimos Simposios de Investigación en Enseñanza de la

Física (SIEF) y en las últimas Reuniones Nacionales de Educación en Física (REF), organizados por la Asociación de Profesores de Física de Argentina, se presentaron trabajos centrados en el LT, principalmente en torno al LT universitario. Además, respalda esta afirmación, el hecho de que se han conformado grupos específicos de estudio e investigación relativos al LT. Fernández y Caballero (2017) afirman que estos grupos se han extendido en todo el planeta: 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.

Esta inclinación hacia el libro de texto universitario puede ser entendida si se considera que los LT de física usados en los cursos superiores no sólo impactan en la enseñanza de la disciplina en ese nivel, sino también en los inferiores. Esto se debe a que, en muchas ocasiones, los LT universitarios de física se constituyen en fuente de consulta de los docentes de nivel medio y de los autores de libros y manuales destinados a educación secundaria. Por otro lado, también aparecen referenciados en los dispositivos curriculares de física correspondiente al nivel medio de diferentes jurisdicciones. Por estos motivos, indirectamente, a los LT universitarios les cabe una elevada cuota de responsabilidad, en virtud de que abordajes inadecuados, errores y ambigüedades, presentes en estos, pueden ser, eventualmente, reproducidos en libros de otros niveles educativos.

Este trabajo se desprende de 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 la presentación que se realiza del tema fuerzas conservativas en diez LT universitarios de física, analizando cuáles son las definiciones propuestas, si se explicita o no la equivalencia de las mismas y los ejemplos representativos de fuerzas conservativas y no conservativas.

## II. ENCUADRE Y ANTECEDENTES

Se concuerda con Carlino (2003) cuando afirma que en la universidad los estudiantes se encontrarán con textos no escritos para ellos sino para conocedores de las líneas de pensamiento y de las polémicas internas de cada campo disciplinar. La investigadora plantea, además, que estos textos serán su herramienta básica para adquirir conocimiento y formarse profesionalmente, por ello leer fluidamente no es suficiente. A diferencia de otros géneros literarios, en los LT de ciencias se utiliza un lenguaje con vocabulario específico, de gran precisión, y que supone algunas dificultades en virtud de que hechos observables muchas veces deben ser descriptos mediante modelos, esto es, mediante el empleo de entidades no observables (Sanmartí, Izquierdo y García, 1999).

Occelli y Valeiras (2013) realizaron una revisión de las publicaciones referidas a diferentes aspectos relacionados con los libros de texto de ciencias en una muestra de revistas que cubre las más reconocidas del ámbito de la enseñanza de las ciencias. Otra revisión más reciente da cuenta de que persiste el interés en el libro de texto, según se refleja en las publicaciones realizadas en revistas de acceso libre en los últimos años (Zang, Giacosa y Chrobak, 2019).

Entre los antecedentes específicos que conciernen a este trabajo, se puede citar a Keepports (2006) y a Díaz y González (2011). El primero plantea que en los textos tradicionales está poco explicitada la naturaleza conservativa o no conservativa de las fuerzas que comúnmente se abordan en los cursos introductorios. Sugiere a los profesores la discusión de estos aspectos con los estudiantes, para ello propone el análisis de situaciones sencillas que involucran, principalmente, cuerpos apoyados o moviéndose sobre superficies dinámicas. Díaz y González (2011) profundizan en estos planteos y desarrollan un formalismo matemático, introduciendo el concepto de energía pseudo potencial asociada a la fuerza normal, para explicar lo que Keepports (2006) planteó de manera cualitativa. Sin embargo, discrepan con este pues sostienen que algunas fuerzas en determinadas circunstancias tienen un comportamiento conservativo y en otras no. Para Keepports (2006), la naturaleza de la fuerza no depende de las condiciones en las que se está aplicando. Una fuerza siempre es conservativa o **nunca** lo es.

Respecto de las fuerzas conservativas y la conservación de la energía, Chernicoff (1991) analiza en una muestra de libros universitarios la resolución que se da al problema de calcular la magnitud de la velocidad del centro de masa de un cilindro/esfera que desciende por un plano inclinado rodando sin deslizar. Señala que uno de los métodos de resolución usados aplica el principio de conservación de la energía mecánica, aunque actúe una fuerza no conservativa. Afirma que en pocos LT se llama la atención sobre este hecho, y menos aun se da una explicación satisfactoria.

Si bien no se encontraron reportes específicos de investigaciones que aborden explícitamente el tema objeto de estudio de esta investigación, se citarán de manera sucinta tres (Sherwood y Bernard, 1984; Bauman, 1992, Jewett, 2008), que abordan cuestiones ligadas a la fuerza de fricción, que es el ejemplo típico y mayoritariamente utilizado de fuerza no conservativa en los libros. En estos trabajos se señalan inconsistencias en el desarrollo usual del trabajo de la fuerza de rozamiento en los libros introductorios de física, principalmente relacionadas con la falta de discusión sobre la imposibilidad de calcular operacionalmente el trabajo de estas fuerzas.

### III. METODOLOGÍA

Este trabajo corresponde a un estudio descriptivo de casos múltiples, para el cual se usó una muestra intencional de LT que fueron examinados mediante el empleo de técnicas de análisis de contenido (Bardin, 1996).

La selección de la muestra se realizó atendiendo a los siguientes criterios: que el LT esté a disposición de los usuarios de la Biblioteca de la Facultad de Ciencias Exactas, Químicas y Naturales dependiente de la Universidad Nacional de Misiones; que esté mencionado en la bibliografía sugerida en los programas analíticos de asignaturas del área de física y de su enseñanza de las carreras de dicha casa de estudios; que no se repitiera el autor (a fin de evitar sesgos) y que la edición sea lo más actual posible. En la tabla I se expone la codificación utilizada y los datos que identifican a cada ejemplar, por orden alfabético según el apellido del primer autor.

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

Cod.	Libros de texto
A	Alonso, E. y Finn, E. (1976) <i>Física. Vol. I. Mecánica</i> . Barcelona, España: Fondo Educativo Interamericano S.A.
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. <sup>a</sup> ed. México: Pearson Educación.
D	Hewitt, P (2004) <i>Física Conceptual</i> . 9. <sup>a</sup> ed. México: Pearson Educación.
E	Resnick, R.; Halliday, D. y Krane, K. (2011). <i>Física. Vol. 1</i> . 5. <sup>a</sup> 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. <sup>a</sup> ed. México: Cenage Learning.
G	Tipler, P. (1993) <i>Física. Tomo 1</i> . 3. <sup>a</sup> ed. España: Reverté S.A.
H	Tippens, P. (2007) <i>Física, conceptos y aplicaciones</i> . 7. <sup>a</sup> ed. Perú: McGraw Hill
I	Wilson, J., Bufa, A. y Lou, B. (2007) <i>Física</i> . 6. <sup>a</sup> ed. México: Pearson Educación
J	Young, H. y Freedman, R. (2009) <i>Física universitaria con Física Moderna. Vol. 1</i> . 12. <sup>a</sup> ed. México: Pearson Educación.

En el análisis de contenido se consideraron fases de preanálisis, exploración del material y tratamiento de resultados e interpretaciones. La información recolectada en el preanálisis se procesó mediante palabras claves y tablas que viabilizaron la identificación del libro y la página de la que se extrajeron. La relectura, que permitió reconocer regularidades, conjuntamente con los referentes citados, posibilitaron definir las siguientes dos variables:

V1. Presentación de definición y formas de presentación (si se presenta o no se presenta, en caso afirmativo si se lo hace invocando la independencia del trabajo y la trayectoria, la relación entre trabajo de fuerzas conservativas y variación de energía potencial, la reversibilidad del trabajo, el valor nulo del trabajo en trayectorias cerradas, finalmente si se explicita o no la equivalencia de las anteriores definiciones).

V2. Presentación de ejemplos típicos (ejemplos típicos de fuerzas conservativas como la fuerza de gravedad, la fuerza de restitución elástica, la fuerza electrostática, la fuerza de flotación; y de fuerzas no conservativas, como la fuerza de fricción, la normal o la fuerza de resistencia de los fluidos).

### 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 de análisis		Libros de texto											
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	Tot	
V1. Presentación de definición y formas de presentación	V1.1. Se presenta	V1.1.1. Independencia de trabajo y trayectoria	X	X	X		X	X	X		X	X	8
		V1.1.2. Trabajo igual al opuesto de la variación de Energía Potencial	X	X			X		X			X	5
		V1.1.3. El trabajo realizado en una trayectoria cerrada es nulo	X	X			X	X	X			X	6
		V1.1.4. El trabajo es reversible				X						X	2
		V1.1.5. Se explicita la equivalencia entre dos o más de estas definiciones	X	X	X		X	X	X				6

Variables de análisis		Libros de texto										Tot	
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J		
V1.2.	No se presenta				X				X			2	
V.2. Presentación de ejemplos típicos	V2.1 Ejemplos de fuerzas conservativas:	V2.1.1. Fuerza gravitatoria	X	X	X		X	X			X	6	
		V2.1.2. Fuerza electrostática					X				X	2	
		V2.1.3. Fuerza de restauración de un resorte			X	X		X	X	X	X	X	7
		V2.1.4. Fuerza de flotación											
		V2.1.5. Otras fuerzas		X									1
	V2.2 Ejemplos de fuerzas no conservativas	V2.2.1. Fuerza de rozamiento	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	10
		V2.1.2. Fuerza de resistencia en fluidos	X									X	2
		V2.1.3. Fuerza normal											
		V2.1.4. Otras fuerzas				X			X			X	3
	V2.3	No se presenta ejemplos											

### A. Acerca de la definición de fuerza conservativa

En ocho de los ejemplares inspeccionados (A, B, C, E, F, G, I, J) se aborda el tema fuerzas conservativas. Las dos definiciones de fuerza conservativa más asiduamente encontradas en la muestra inspeccionada son, por un lado, la que identifica a las fuerzas conservativas con aquellas cuyo trabajo es independiente de la trayectoria y por el otro, la que establece que una fuerza es conservativa si el trabajo realizado por ella en una trayectoria cerrada es nulo. En este sentido, en estos ejemplares pueden encontrarse afirmaciones como las que se citan a continuación y en las que se las contempla según la primera vía: “El trabajo efectuado por fuerzas conservativas es independiente de la trayectoria” (Alonso y Finn, 1976, p. 214); “El trabajo realizado por una fuerza conservativa es independiente de la trayectoria que conecta el punto inicial con el punto final” (Gettys, Keller y Skove, 2005, p.196); “Decimos que una fuerza es conservativa si el trabajo efectuado por ella para mover un objeto es independiente de la trayectoria del objeto” (Wilson, Bufa y Lou, 2007, p. 157);

*Por definición, llamamos a una fuerza conservativa*

***si el trabajo hecho por la fuerza sobre un objeto que se mueve de un punto a otro depende sólo de las posiciones inicial y final del objeto, y es independiente de la trayectoria particular tomada.*** (Giancoli, 2009, p. 184, negritas en el original)

*Considere el trabajo efectuado por una fuerza que actúa sobre un objeto cuando éste pasa de una posición inicial a una posición final en una trayectoria arbitrariamente elegida. Si el trabajo es el mismo en todas las trayectorias, la fuerza será conservativa. En caso contrario, se tratará de una fuerza no conservativa.* (Resnick, Halliday, Krane, 2011, p. 259)

En todos estos textos, también pueden leerse afirmaciones que definen a las fuerzas conservativas según la segunda vía mencionada anteriormente. Por ejemplo: “Suponga que un objeto describe una trayectoria cerrada de modo que el punto final y el inicial son el mismo. Una fuerza es conservativa si el trabajo total realizado sobre un objeto, cuando éste describe una trayectoria cerrada, es cero” (Gettys et al., 2005, p.188); o “...una fuerza es conservativa si el trabajo neto realizado por la fuerza sobre un objeto que se mueve alrededor de cualquier trayectoria cerrada es cero” (Giancoli, 2009, p. 185).

*Considere el trabajo total efectuado por una fuerza que opera sobre una partícula a medida que esta se mueve alrededor de una trayectoria cerrada y retorna a su punto de partida. Si es cero, la llamaremos fuerza conservativa. Si la fuerza total del viaje redondo no es cero, la llamaremos fuerza no conservativa.* (Resnick et al., 2011, p. 258)

En la última de las citas precedentes, hay un error de traducción o tal vez de los autores, donde dice “Si la fuerza total del viaje redondo no es cero, la llamaremos fuerza no conservativa”, debería decir “Si el trabajo total del viaje redondo no es cero, la llamaremos fuerza no conservativa”. Se indica “fuerza” cuando es “trabajo”.

En todos se muestra la equivalencia de estas dos formas de definir a las fuerzas conservativas. Se citarán a continuación algunos ejemplos representativos. En F, los autores establecen explícitamente que:

*Las fuerzas conservativas tienen estas dos propiedades equivalentes:*

- 1. El trabajo invertido por una fuerza conservativa sobre una partícula móvil entre dos puntos cualesquiera es independiente de la trayectoria tomada por la partícula.*
- 2. El trabajo invertido por una fuerza conservativa en una partícula móvil a lo largo de cualquier trayectoria cerrada es cero. (Una trayectoria cerrada es aquella en la que el punto de partida y el punto final son idénticos)* (Serway y Jewett, 2007, p. 182).

En la mayoría de los ejemplares se establecen relaciones entre el trabajo realizado por una fuerza conservativa y la variación de la energía potencial. Así en B puede leerse “Se define el cambio en la energía potencial  $U_f - U_i$ , debido a una fuerza conservativa como el valor negativo del trabajo realizado por la fuerza” (Gettys et al., 2005, p. 191) y en E:

*Cuando una fuerza conservativa realiza trabajo en un sistema, la configuración de sus partes cambia y por lo mismo la energía potencial pasa de su valor inicial  $U_i$  a su valor final  $U_f$ . El cambio de la energía potencial relacionada a una fuerza individual lo definimos así:*

$$\Delta U = U_f - U_i = -W$$

*Donde  $W$  es el trabajo relacionado por esa fuerza a medida que el sistema pasa de una configuración inicial específica a una configuración final también específica (Resnick et al., 2011, p. 260).*

En F, los autores comienzan por mostrar que el trabajo realizado por la fuerza gravitacional depende solamente de los valores de la energía potencial gravitacional en los extremos de la trayectoria. De manera análoga, muestran que el trabajo realizado por la fuerza restauradora de un resorte también depende solamente de los valores de la energía potencial elástica en los extremos de la trayectoria. A partir de la consideración de estos dos casos particulares, extienden esta relación al caso general que atañe a cualquier fuerza conservativa:

*Es posible asociar una energía potencial para un sistema con una fuerza que actúa entre integrantes del sistema, pero sólo se puede hacer para fuerzas conservativas. En general, el trabajo  $W_c$  invertido por una fuerza conservativa en un objeto que es integrante de un sistema conforme el objeto se traslada de una posición a otra es igual al valor inicial de la energía potencial del sistema menos el valor final:*

$$W_c = U_i - U_f = -\Delta U \quad (7.23). \quad (\text{Serway y Jewett, 2007, p. 182})$$

En el mismo ejemplar, en la sección de energía potencial de un sistema, el trabajo realizado sobre un sistema por una fuerza externa se distingue del realizado por una fuerza conservativa, que es interna al sistema. En el primer caso, el trabajo efectuado por la fuerza aparece como un aumento en la energía del sistema, y en aquellas situaciones donde no hay variación de energía cinética, el valor de este trabajo coincide numéricamente con el valor de la variación de energía potencial del sistema. Los autores aclaran que este es un trabajo externo y lo diferencian del trabajo interno realizado por una fuerza conservativa, cuyo valor es igual al opuesto de la variación de energía potencial.

En J, también se establece la relación entre el trabajo de una fuerza conservativa y la variación de energía potencial. En este ejemplar, los autores parten de analizar los casos particulares del trabajo realizado por la fuerza conservativa de la gravedad y luego de la fuerza restauradora de un resorte, para luego extender dicha relación a cualquier fuerza conservativa. Así, puede leerse: “Podemos expresar el trabajo  $W_{grav}$  realizado por la fuerza gravitacional durante el desplazamiento de  $y_1$  a  $y_2$  como  $W_{grav} = U_{grav,1} - U_{grav,2} = -(U_{grav,2} - U_{grav,1}) = -\Delta U_{grav}$  (7.3)” (Young y Freedman, 2009, p. 214); y “Podemos usar la ecuación (7.9) para expresar el trabajo  $W_{el}$  efectuado sobre el bloque por la fuerza elástica en términos del cambio en la energía potencial elástica:  $W_{el} = \frac{1}{2}kx_1^2 - \frac{1}{2}kx_2^2 = U_{el,1} - U_{el,2} = -\Delta U_{el}$  (7.10)” (Young y Freedman, 2009, p. 223).

El carácter reversible de los procesos en los que están involucradas fuerzas conservativas está poco explorado. Sólo en dos ejemplares (C, J) se lo afirma explícitamente. Los siguientes fragmentos dan cuenta de ello:

*La segunda definición de una fuerza conservativa aclara un aspecto importante de tal fuerza: el trabajo efectuado por una fuerza conservativa es recuperable en el sentido de que si trabajo positivo es realizado por un objeto (sobre algún otro) en una parte de una trayectoria cerrada, una cantidad equivalente de trabajo negativo será efectuada por el objeto durante su retorno. (Giancoli, 2009, p. 185)*

*Decimos que una fuerza que ofrece esta oportunidad de conversión bidireccional entre energías cinética y potencial es una fuerza conservativa. Hemos visto dos ejemplos de fuerzas conservativas: la gravitacional y la de resorte. (Más adelante en este libro estudiaremos otra fuerza conservativa, la fuerza eléctrica entre los objetos cargados). Una característica fundamental de las fuerzas conservativas es que su trabajo siempre es reversible. (Young y Freedman, 2009, p. 228)*

En J, es el único ejemplar donde se consideran simultáneamente todos los atributos que caracterizan al trabajo efectuado por una fuerza conservativa:

*El trabajo realizado por una fuerza conservativa siempre tiene estas propiedades:*

1. Puede expresarse como la diferencia entre los valores inicial y final de una función de energía potencial.
2. Es reversible.
3. Es independiente de la trayectoria del cuerpo y depende sólo de los puntos inicial y final.
4. Si los puntos inicial y final son el mismo, el trabajo total es cero.

*Si las únicas fuerzas que efectúan trabajo son conservativas, la energía mecánica total  $E=K+U$  es constante. (Young y Freedman, 2009, p. 229)*

## B. Acerca de la presentación de ejemplos típicos para fuerzas conservativas y para fuerzas no conservativas

Todos los textos analizados presentan como ejemplo típico de fuerza conservativa a la fuerza de atracción gravitatoria. En otros (B, C, E, F, G, I, J), se añade además la fuerza de restauración de un resorte y, en dos de ellos (E, J), a la fuerza electrostática. De manera similar, todos presentan a la fuerza de rozamiento para ejemplificar las fuerzas no conservativas y solamente en algunos se añaden otros ejemplos, tal como se describirá unas líneas más adelante.

En Young y Freedman (2009) se menciona que la fuerza gravitacional y la del resorte son ejemplos de fuerzas conservativas y se aclara que en un capítulo posterior se abordará la fuerza eléctrica que también es conservativa, tal como puede leerse en una cita incluida en la sección precedente en esta misma página.

En lo que respecta a los ejemplos utilizados para las fuerzas conservativas, en Alonso y Finn (1976, pp. 218-220) en el ejemplo 8.8, los autores aplican las relaciones desarrolladas en los párrafos previos para encontrar las funciones de energías potenciales asociadas a las fuerzas centrales (a)  $F=kr$  y (b)  $F=k/r^2$ . La primera de las expresiones corresponde a una función en que la fuerza es proporcional a la distancia y la segunda en el que la fuerza varía inversamente con el cuadrado de la distancia. Aunque los autores no lo dicen, estas expresiones modelan matemáticamente la fuerza de restauración del resorte y la fuerza electrostática de Coulomb, respectivamente. Como no se dice explícitamente que esos dos fenómenos podrían constituir una de las interpretaciones posibles de los dos modelos matemáticos presentados, se consideró que en este libro el único ejemplo típico que se menciona para las fuerzas centrales conservativas es el de la fuerza gravitatoria. Y a estos dos ejemplos, presentados mediante un modelo matemático desprovisto de una interpretación física, se optó por incluirlos en la categoría "otras fuerzas".

En los siguientes fragmentos pueden leerse los ejemplos de fuerzas no conservativas propuestos en diferentes ejemplares. Cabe resaltar que en todos los libros se presenta a la fuerza de fricción como ejemplo típico. En tanto que en algunos se consideran, a su vez, otras fuerzas.

*Es fácil encontrar fuerzas en la naturaleza que no son conservativas. Un ejemplo de ellas es la fricción. La fricción siempre se opone al desplazamiento. Su trabajo depende de la trayectoria seguida y, aunque la trayectoria pueda ser cerrada, el trabajo no es nulo, de modo que la ec. (8.20) no se aplica. Similarmente, la fricción en fluidos se opone a la velocidad, y su valor depende de ésta más no de la posición. Una partícula puede estar sujeta a fuerzas conservativas y no conservativas al mismo tiempo. (Alonso y Finn, 1976, pp. 228-229)*

*Si un objeto se desliza sobre una superficie que está en reposo, la dirección de la fuerza de fricción siempre es opuesta a la velocidad del objeto, como se ilustra en la figura 9.2. A lo largo del movimiento, la fuerza de fricción siempre realiza un trabajo negativo, por tanto el trabajo realizado tras un movimiento a lo largo de una trayectoria cerrada no puede ser cero. Si el trabajo no es cero, la fuerza no es conservativa. La fuerza de fricción cinética es una fuerza no conservativa. (Gettys et al., 2005, p. 188)*

En la última de las citas precedentes, puede leerse una confusión terminológica, debiera decir que el sentido de la fuerza de fricción es opuesto a la velocidad. Esta misma imprecisión se encuentra presente en otros ejemplares:

*En cambio, en el caso de una fuerza no conservativa como la de la fricción cinética, que siempre se opone al movimiento o tiene dirección opuesta al desplazamiento, el trabajo total efectuado en un viaje redondo nunca puede ser cero y siempre será negativo (es decir, se pierde energía). Sin embargo, no hay que pensar que las fuerzas no conservativas sólo quitan energía a un sistema. Al contrario, a menudo aplicamos fuerzas de empuje o tracción no conservativas que aumentan la energía de un sistema, como cuando empujamos un automóvil averiado. (Wilson et al., 2007, p. 158)*

En G, esto se observa cuando el autor menciona una de las maneras en que puede determinarse el carácter conservativo o no de una fuerza, a la vez que advierte que este procedimiento posee limitaciones y que en cursos avanzados de física se resuelve dicha cuestión:

*No todas las fuerzas son conservativas. Supongamos que se empuja desde un punto A hasta un punto B una caja situada encima de una mesa y luego se vuelve de A B, de forma que la caja acaba en el mismo sitio de donde ha salido. El rozamiento se opone al movimiento, por lo que la fuerza que se ejerce al empujar la caja, que siempre va en la dirección del movimiento, realiza un trabajo positivo en los dos tramos del trayecto. Por lo tanto, el trabajo final que ha hecho el empuje no es cero y nos encontramos ante un ejemplo de fuerza no conservativa para la cual no podemos definir una función de energía potencial. Algunas veces se puede demostrar que una fuerza determinada no es conservativa calculando el trabajo realizado por la fuerza alrededor de alguna curva cerrada y mostrando que éste no es cero. Consideremos la fuerza  $F=F_0\phi$ , donde  $\phi$  es un vector unitario dirigido según la tangente a un círculo de radio  $r$ . El trabajo realizado por esta fuerza cuando nos movemos alrededor del círculo de radio  $r$  es  $+F_02\pi r$  si lo hacemos en la dirección de la fuerza (y  $-F_02\pi r$  si lo hacemos en la dirección opuesta a la fuerza). Como este trabajo no es cero, concluimos que la fuerza no es conservativa. Sin embargo, este método para saber si una fuerza es conservativa o no, es limitado ya que si el trabajo realizado alrededor de un camino determinado no es cero, podemos concluir que esta fuerza no es conservativa pero, en cambio, para que la fuerza sea conservativa el*

*trabajo debe ser cero en todas las trayectorias cerradas posibles. Como hay infinitas trayectorias cerradas, es imposible calcular el trabajo realizado en cada una. En cursos de física más avanzados se exponen métodos matemáticos más sofisticados para probar el carácter conservativo o no de las fuerzas.* (Tipler, 1993, p. 159)

Por otra parte, en C, además de la fuerza de rozamiento se mencionan otras fuerzas, tal como puede leerse en la siguiente cita: “*Muchas fuerzas como la fricción, o el empuje o el jalón ejercidos por una persona, son fuerzas no conservativas porque el trabajo que realizan depende de la trayectoria*” (Giancoli, 2009, p. 185). De manera similar, en J también se consideran otras fuerzas no conservativas:

*Asimismo, la fuerza de resistencia de fluidos (sección 5.3) no es conservativa. Si lanzamos una pelota hacia arriba, la resistencia del aire efectúa trabajo negativo sobre ella al subir y al bajar. La pelota regresa a la mano con menor rapidez y menos energía cinética que cuando salió, y no hay forma de recuperar la energía mecánica perdida.* (Young y Freedman, 2009, p. 229)

## V. REFLEXIONES FINALES

Del análisis realizado y en lo que respecta a los vínculos entre el trabajo de las fuerzas conservativas y las energías potenciales, en líneas generales el tratamiento dispensado es similar en todos los libros. Paralelamente se contemplan diferentes definiciones de fuerzas conservativas y se demuestra la equivalencia entre ellas. En dos ejemplares (Giancoli, 2009; Young y Freedman, 2009) se remarca a su vez el carácter reversible del trabajo realizado por las fuerzas conservativas. En cuanto a los ejemplos propuestos para las fuerzas conservativas, la variedad de situaciones en ellos contemplada es relativamente baja. Se circunscriben principalmente a la fuerza gravitacional y la fuerza elástica del resorte. En dos ejemplares se consideran, a su vez, la fuerza electrostática (Resnick *et al.*, 2011; Young y Freedman, 2009) y en ningún texto se menciona a la fuerza de flotación. El ejemplo típico de fuerza no conservativa es la fuerza de fricción entre sólidos. En un ejemplar se consideró además a la fuerza de fricción entre un sólido que se desplaza inmerso en un fluido (Alonso y Finn, 1976). Prácticamente no se encontraron otros ejemplos de fuerzas no conservativas. Por otro lado, en ningún libro se explicita el carácter conservativo o no de las fuerzas que habitualmente se consideran en los problemas resueltos mediante consideraciones energéticas. En particular, en los libros se omite la discusión sobre la naturaleza de la fuerza normal.

En virtud del análisis realizado, tal como lo muestran las citas elegidas, se notó que los ejemplos hacen referencia a fuerzas que actúan sobre objetos que se encuentran en movimiento sobre superficies estáticas. Se cree que la omnipresencia en los libros de texto de problemas que involucran cuerpos que se mueven sobre superficies en reposo y en las que la fuerza normal no realiza trabajo por ser perpendicular al desplazamiento, podría favorecer errores conceptuales como el de asignar el carácter conservativo a dicha fuerza. Es decir, el hecho de que en casi la totalidad de los ejemplos que se ofrecen resueltos, el trabajo realizado por la fuerza normal es cero, puede inducir al lector a concluir erróneamente que, como el trabajo siempre es cero independientemente de la trayectoria seguida, la normal es una fuerza conservativa. Este valor nulo del trabajo se debe a la ortogonalidad de la fuerza y el desplazamiento cuando las superficies son estáticas, cuestión que no siempre es contemplada adecuadamente por los autores. Estos resultados coinciden con lo señalado por Keeports (2006).

Finalmente, en los textos analizados, en las secciones destinadas al estudio del carácter conservativo de las fuerzas, se utilizan de manera imprecisa ciertos aspectos vinculados con las magnitudes vectoriales. Específicamente se confunde la dirección de una fuerza con su sentido. Esto podría reforzar algunas de las dificultades que presentan los estudiantes para distinguir la dirección y el sentido de un vector.

## REFERENCIAS

Alonso, E. y Finn, E. (1976) *Física. Vol. I. Mecánica*. Barcelona, España: Fondo Educativo Interamericano S.A.

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. (1992). Physics that textbook writers usually get wrong. *The Physics Teacher*, 30(5), 264-269.

Carlino, P. (2003). Leer textos científicos y académicos en la educación superior: Obstáculos y bienvenidas a una nueva cultura. *Revista Uni-Pluri/versidad*, 3(2), 17-23.

- Chernicoff, R. (1991). Las fuerzas no conservativas y el principio de conservación de la energía. *Memorias de la VII Reunión de Educadores en la Física (REF VII)*. Mendoza, 16 al 20 de Septiembre, 59-62.
- Chevallard, Y. (1991). *La transposición didáctica. Del saber sabio al saber enseñado*. Buenos Aires: Aique.
- de Pro Bueno, A. (2003). La enseñanza y el aprendizaje de la física. En M. P. Jiménez Alexaindre, A. Caamaño, A. Oñorbe, E. Pedrinaci y A. de Pro. *Enseñar ciencias*. Barcelona: Graó.
- Díaz, S. y González, L. (2011). La fuerza normal: ¿una fuerza conservativa? *Revista Mexicana de Física*. 57(1) 51–56.
- 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.
- Gettys, E., Keller, F. y Skove, M. (2005.) *Física para ciencias e ingeniería. Tomo I. 2.ª ed.* México: McGraw Hill.
- Giancoli, D. (2009). *Física para ciencias e ingeniería con física moderna. Volumen I. 4.ª ed.* México: Pearson Educación.
- Hewitt, P. (2004). *Física Conceptual. 9.ª ed.* México: Pearson Educación.
- Jewett Jr, J. W. (2008). Energy and the Confused Student I: Work. *The Physics Teacher*, 46(1), 38-43.
- Keepports, D. (2006). The common force: conservative or non-conservative? *Phys. Educ.* 41, 219-222
- Occelli, M. y Valeiras, N. (2013). Los libros de texto de ciencias como objeto de investigación: una revisión bibliográfica. *Revista Enseñanza de las Ciencias*, 31(2), 133-152.
- Resnick, R., Halliday, D. y Krane, K. (2011). *Física. Vol. 1. 5.ª ed.* México: Grupo Editorial Patria.
- Sanmartí., 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: Cenage Learning.
- Sherwood y Bernard, 1984 Work and heat transfer in the presence of sliding friction. *American Journal of Physics*, 52(11), 1001-1007.
- 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.