

El tratamiento de la conservación de la energía en libros de texto de física universitaria

Treatment of energy conservation in university physics textbooks

Claudia Zang ^{1*} y Norah Giacosa ¹

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

*E-mail: claudiamzang@gmail.com

Recibido el 28 de septiembre de 2022 | Aceptado el 8 de noviembre de 2022

Resumen

Se inspeccionó una muestra de diez libros de texto de Física que se emplean usualmente en cursos introductorios de Física de carreras vinculadas a las ciencias exactas y experimentales, ofrecidas en universidades argentinas; con la finalidad de caracterizar el tratamiento dado a la conservación de la energía. Se usó la técnica análisis de contenido para investigar si en los textos se presenta la conservación de la energía como una ley física o como un teorema que se demuestra apelando al teorema de trabajo y energía cinética, asimismo para caracterizar la forma en que se enuncia dicha ley y el significado que se le otorga. Se encontró que mayoritariamente se establece la conservación de la energía a partir del teorema de trabajo y energía cinética, se la enuncia de manera positiva y concibiéndola tanto como una constante del movimiento como un invariante del universo.

Palabras clave: Libros de texto; Física; Universidad; Conservación de la energía.

Abstract

A sample of ten Physics textbooks that are used in introductory Physics courses of careers linked to exact and experimental sciences, offered in Argentine universities, was inspected; in order to characterize the treatment given to energy conservation. The content analysis technique was used to investigate whether in the texts the conservation of energy is presented as a physical law or as a theorem that is proved by appealing to the work and kinetic energy theorem, also to characterize the way in which it is stated. said law and the meaning given to it. It was found that the conservation of energy is mostly established from the theorem of work and kinetic energy, it is stated in a positive way and conceived as both a constant of movement and an invariant of the universe.

Keywords: Textbooks; Physics; University; Energy conservation.

I. INTRODUCCIÓN

La energía es un tema de fundamental importancia por su carácter estructurante y unificador en todas las ramas de la Física, por su potencialidad en el estudio de todo tipo de problemas físicos y de otras disciplinas y por su utilidad como nexo en las relaciones entre ciencia, tecnología, sociedad y ambiente.

Desde la literatura se señala que la conceptualización de la energía presenta ciertas dificultades, tanto de origen epistemológico (por su complejidad intrínseca) como por las deformaciones que se producen en las sucesivas transposiciones didácticas (Chevallard, 1991). Se indica que los estudiantes tienen ideas bien desarrolladas sobre la energía incluso antes de que el concepto se aborde en la escuela (Duit, 1981a; 1981b; Solomon, 1985; Trumper, 1997).

Esta familiaridad, sin embargo, en lugar de ser útil, ha demostrado ser un obstáculo importante para comprender varios aspectos de la energía. Este concepto es abstracto, por lo que, sumado al uso cotidiano del término, resulta difícil de comprender y de utilizar funcionalmente para muchos alumnos.

Realizar un análisis de los libros de texto (LT) universitarios es pertinente porque estos influyen, no sólo en la enseñanza de la Física de dicho nivel, sino también en los niveles inferiores. Muchos autores de LT destinados a la Educación Secundaria los consultan como bibliografía de referencia porque con ellos estudiaron y los docentes de dicho nivel, se ven impulsados a usarlos tal como se sugiere en algunos Dispositivos Curriculares Jurisdiccionales.

Aunque son múltiples los factores que pueden influir en la conceptualización de la conservación de la energía, uno de ellos podría estar relacionado con la falta de comprensión de los fenómenos a partir de los LT que se usan. Estos aspectos invitan a pensar en ¿cuál es el aporte que se realiza -desde una perspectiva conceptual- al tema “conservación de la energía” en LT de Física universitaria? El intento de responder a este y otros interrogantes, motivó 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 usados en Argentina. Aquí se pretende describir, a manera de reseña de parte del mencionado estudio, si la conservación de la energía se presenta como una generalización del teorema de trabajo-energía cinética o como una ley general e independiente, caracterizar la forma en que se la enuncia y el significado que se le otorga.

II. MARCO TEÓRICO Y ANTECEDENTES

Los LT son concebidos como una herramienta pedagógica para el aprendizaje que imponen una distribución y jerarquización de ideas, a partir de una transformación y recreación del conocimiento (Álvarez Méndez, 2001). En tanto instrumentos mediadores, a través de una presentación didáctica, traducen y concretan los significados incluidos en el *currículum* oficial (Gimeno y Pérez, 2005, Martínez, 2002).

La elección del LT constituye una de las decisiones curriculares más importantes que toman los docentes: los LT ejercen una influencia importante porque orientan y direccionan muchas actividades que conforman las propuestas áulicas y porque los alumnos los usan como material de estudio (Campanario y Otero, 2000). La influencia del LT en la elección y secuenciación de los contenidos incluidos en el *currículum* oficial fue señalada por varias investigaciones (Gattoni y Gangoso, 1995; Giacosa *et al.*, 2015); también que el nivel de un curso está determinado por la bibliografía que en él se maneja (Concari y Giorgi, 2000).

El material de lectura condiciona fuertemente el aprendizaje y las explicaciones presentes en los LT no siempre son suficientemente claras para lograr la construcción de conocimientos (de Pro Bueno, 2003). García García (1993) señala una serie de factores que influyen en la comprensión (características del texto, su temática y dificultad; conocimientos previos, propósitos, intenciones y expectativas del lector; entre otros). En este trabajo se considerarán las características del texto. Al respecto, Alexander y Kulikowich (1994), catalogan a los LT de Física como “bilingües” ya que el lector debe moverse mentalmente entre un sistema simbólico (matemático y científico) y un sistema lingüístico (expresiones verbales).

La problemática de la enseñanza de la energía ha recibido mucha atención en la literatura de investigación en educación científica, principalmente en las décadas de los ochenta y noventa. Uno de los ejes principales se refiere a la documentación de las concepciones de los estudiantes (Watts, 1983; Duit, 1981a, 1981b; Trumper, 1997). Las dificultades de los alumnos para la conceptualización de la energía motivaron el interés sobre la forma más apropiada de introducir el concepto. Existen posturas contrapuestas acerca de si conviene introducir la noción de energía antes o después de haber estudiado el concepto de trabajo. Warren (1982), en acuerdo con Feynman, Leighton y Sands (1987), insiste en que la energía es un concepto matemático abstracto, plantea, además, que su enseñanza debe partir de su definición científica (que demanda comprender la idea de trabajo). Reconoce que este enfoque resulta muy abstracto y formal para gran parte de los profesores y alumnos, por ello sólo sería adecuado para los estudiantes de mayor edad. Otros investigadores llegan incluso a proponer que debería eludirse la cuestión de su definición y aproximarse al concepto en forma operativa a través de su conservación en diferentes situaciones (Sexl, 1981; Trumper, 1991). Lehrman (1973), Sefton (2004) y Sexl (1981) sugieren no definirla en términos del trabajo. Primero, porque restringe el concepto de energía a la mecánica y, segundo, porque esta definición contradice las leyes de la termodinámica, dado que no contempla que la energía se degrada. Es decir, si bien la energía se conserva, no toda la energía de un sistema puede transformarse íntegramente en trabajo, con lo cual la capacidad de hacer trabajo no se conserva. Una postura diferente marca que es conveniente partir de una definición descriptiva, que incorpore gradualmente nuevos atributos hasta completar el significado del concepto de energía (Hierrezuelo y Molina, 1990). Al finalizar un proceso didáctico de esta índole, tiene sentido introducir el trabajo como una medida de la energía transferida en determinado proceso.

En varios trabajos se realiza una crítica al desarrollo conceptual que se presenta en los LT utilizados académicamente. Según Jewett (2008a), si la presentación no es elaborada cuidadosamente por los profesores o los LT, la comprensión del concepto de energía y de todo el cuerpo asociado de conceptos podría verse comprometida. Los enfoques tradicionales, comienzan con el teorema de trabajo-energía cinética y luego proceden a ampliar la ecuación mediante la adición de términos para las nuevas situaciones encontradas, lo cual resulta confuso para los alumnos (Jewett, 2008b). Además, en este tipo de enfoque puede reconocerse un error metodológico: Solbes y Tarín (1998), afirman que muchos profesores e incluso algunos autores de LT, otorgan a la conservación de la energía el estatus de principio, aun cuando la han obtenido por integración de la segunda ley de Newton (en tal caso sería un teorema). Si bien reconocen que esto es adecuado en la mayoría de las situaciones estudiadas en los cursos de Mecánica, falla en otras ramas de la Física. Agrega Jewett (2008b) que, incluso en Mecánica, un enfoque de estas características es insuficiente para explicar situaciones que involucran objetos deformables o que giran. Lo cual lleva, a veces, a que este tipo de problemas se evadan en el aula o en los LT.

Por su parte, Solomon (1985), advierte que la enunciación negativa del principio de conservación de la energía, traducida en enunciados del tipo “la energía nunca se crea, nunca se destruye”, sería uno de los factores que induciría a los estudiantes a considerar erróneamente que esta tiene una existencia real y los alejaría de la visión que la concibe como una magnitud abstracta (la más aceptada dentro de la física). Solomon (1985, p. 169), usó una reformulación positiva: “La energía nunca se crea y nunca se destruye; hay la misma cantidad de energía al final como al principio” puesto que esto provee, instrucciones explícitas sobre cómo usar el principio numéricamente.

Según Bauman (1992), en los LT el término conservación alude a dos significados: identificar la energía con una propiedad del sistema que no cambia con el tiempo (una constante del movimiento) y comprender que la conservación implica que no hay pérdidas ni creación de energía. Coelho (2009) indica que frases de este tipo podrían conducir al concepto de energía como algo material: si la energía no puede ser creada ni destruida, sino transformada, debe ser una cosa de existencia real. A la luz de estos planteos, podría señalarse que afirmaciones de este tenor se contraponen a la noción de energía como magnitud abstracta a la que adhieren muchos especialistas del área.

III. CONTEXTO METODOLÓGICO Y OBJETIVOS PRETENDIDOS

La metodología empleada corresponde a un estudio descriptivo de casos múltiples. Se estudió una muestra intencional de LT empleando técnicas del análisis de contenido (Bardin, 1996). Para su selección se tuvo en cuenta que estén disponibles en la Biblioteca de la Facultad de Ciencias Exactas, Químicas y Naturales de la Universidad Nacional de Misiones; estén citados en la bibliografía recomendada en los Programas Analíticos de asignaturas de Física; que no se repita el autor y que su edición sea lo 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 LT 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: Cengage 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., Buffa, 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.

El análisis de contenido se ejecutó a través de las fases de preanálisis, exploración del material y tratamiento de resultados e interpretaciones. La inspección se realizó sobre los capítulos de mecánica que abordan trabajo y energía de partículas y de sistemas de partículas, que se exploraron atendiendo a ciertas regularidades que, en forma conjunta con los antecedentes y con los objetivos de este trabajo, posibilitaron definir una serie de variables:

- Las indicaciones realizadas por Solbes y Tarín (1998) y Jewett (2008a) dieron origen a la variable V1. “Presentación de la conservación de la energía”. Para la cual se consideraron como valores posibles: “Como un enunciado general” o “Como una generalización del teorema de trabajo y energía cinética”.

- Los señalamientos realizados por Solomon (1985) llevaron a la formulación de la variable V2. “Forma en que se enuncia la conservación de la energía”; con sus dos posibles valores “Enunciado de manera positiva” o “Enunciado de manera negativa”.
- Las indicaciones realizadas por Bauman (1992) orientaron en la delimitación de la variable V3. “Significado que se otorga a la conservación de la energía”, donde se consideraron como posibles valores: “como un invariante del sistema” ($\Delta E_{\text{sistema}} = 0$) o “como un invariante del sistema y del entorno” ($\Delta E_{\text{sistema} + \text{entorno}} = 0$).
- Los señalamientos de Alexander y Kulicowich (1994) guiaron todo el análisis realizado y en forma conjunta con los aportes de Chernicoff (1991) y Cudmani (1995), permitieron incorporar la variable V.4. *Uso del sistema lingüístico vinculado a la conservación de la energía*, no considerada a priori.

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.

Sub dimensiones		Libros de texto										Tot
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	
V1. Presentación de la conservación de la energía	V1.1. Como un enunciado general		x				x	x				3
	V1.2. Como una generalización del teorema de trabajo y energía cinética	x	x	x	x	x		x	x	x	x	9
V2. Forma en que se enuncia la conservación de la energía	V2.1. De manera positiva	x	x	x		x	x	x	x	x	x	9
	V2.2. De manera negativa				x			x		x	x	4
V3. Significado que se atribuye a la conservación de la energía	V3.1. Cómo una propiedad invariante del sistema	x	x	x		x			x	x		6
	V3.2. Como una propiedad invariante del sistema y del entorno	x			x	x	x	x		x	x	7
V4. Uso del sistema lingüístico vinculado a la conservación de la energía		x	x		x	x	x	x		x		7

A. Acerca de la presentación de la conservación de la energía

La presentación seguida en un ejemplar (F) difiere de las demás, en él se postula la ecuación general de conservación de la energía para sistemas no aislados y se muestra que la conservación de la energía mecánica y el teorema de trabajo y energía cinética son dos casos particulares de la misma, y se anticipa que, en los sucesivos capítulos del libro, se desarrollarán más situaciones que se desprenden de esta ecuación. En todos los demás, la tendencia es inversa: partir de casos particulares y llegar a la generalización que supone la conservación de la energía. Se obtiene, en primer lugar, la ley de conservación de la energía mecánica para sistemas aislados mediante la combinación del teorema de trabajo y energía cinética con la expresión que vincula el trabajo de fuerzas conservativas con el opuesto de la variación de la energía potencial (un ejemplo se exhibe en la figura 1).

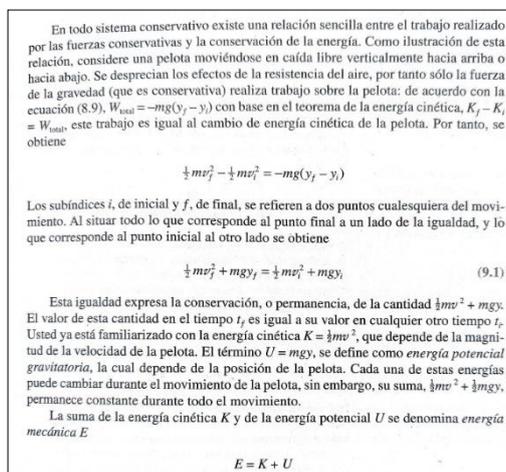


FIGURA 1: Conservación de la energía deducida del teorema de trabajo y energía cinética (Gettys, Keller y Skove, 2005, p. 189).

Luego, en algunos se amplía dicha enunciación para incluir el trabajo de las fuerzas no conservativas y los sistemas no aislados. Y en dos de ellos (B, G), a su vez, se afirma que la conservación de la energía es un principio.

Estos autores, además de establecer la conservación de la energía a partir del teorema de trabajo y energía cinética, insisten en interpretar a la conservación en el sentido de algo que no cambia, y presentan una sección titulada “*Ley de conservación de la energía*”, en la que siguen el procedimiento de conteo propuesto por Feynman *et al.* (1987): cada vez que aparece una aparente falla en la conservación de la energía, se debe buscar una nueva forma de energía que podría explicar la discrepancia con los resultados esperados. Por otra parte, en este LT también se aborda la conservación de la energía enfatizando su rol como una ley física.

El objetivo es generalizar las ideas que hasta ahora se han sugerido. Considere un sistema cerrado o aislado, esto es, uno sobre el que no se realiza ningún trabajo por ningún objeto externo a él. Por lo tanto, no hay intercambio de energía entre este sistema y su entorno. Identifique a continuación los tipos de energía del sistema: existe la energía cinética de cada uno de los objetos macroscópicos que componen el sistema, también existen las energías potenciales debidas a las fuerzas elástica y gravitatoria; se sabe que es necesario incluir también la energía interna de todas las partes del sistema. Otras contribuciones a la energía total pueden incluir las energías acústica, eléctrica, química, nuclear y otras. En resumen, se tienen que incluir todas las energías que puedan variar con el tiempo. En determinado instante se suman todas esas energías y a esta suma se la denomina la energía total del sistema. La ley de conservación de la energía establece que la energía total de un sistema aislado se conserva. Cada una de las contribuciones a la energía total del sistema puede variar con el tiempo, transformándose en una de otro tipo, pero su suma no cambia.

*No se ha demostrado la ley de conservación de la energía, por ello es una ley en el mismo sentido que la segunda ley de Newton es una ley de la naturaleza. Al igual que con la segunda ley de Newton, sólo se acepta su validez en tanto no se observe su violación. Que se sepa, jamás esta ley ha sido violada. En realidad, la creencia en la validez de la ley está tan arraigada que cuando aparentemente se observa una violación, se busca una nueva forma de energía que antes no se había identificado. De esta forma se propuso la existencia del neutrino, una partícula subatómica. (Gettys *et al.*, 2005, pp. 201-202)*

En G, al igual que en B, se presenta a la conservación de la energía como un teorema derivado del teorema de trabajo energía cinética y también como un principio. El autor es redundante en afirmar que la conservación de la energía mecánica se deriva de las leyes de Newton:

Si no hay fuerzas externas que realicen trabajo sobre el sistema y si las fuerzas conservativas internas son las únicas fuerzas internas que realizan trabajo, el trabajo que realizan es igual al cambio en la energía cinética del sistema. Además, como la variación de la energía potencial del sistema coincide con la variación de la energía cinética cambiada de signo, la suma de las energías potencial y cinética no puede cambiar. Esta relación se conoce con el nombre de principio de conservación de la energía mecánica. Este principio se deduce de las leyes de Newton y es una alternativa útil para resolver muchos problemas de mecánica. (Tipler, 1993, p. 171)

Cómo hemos visto, la ley de conservación de la energía puede utilizarse como una alternativa a las leyes de Newton para resolver ciertos problemas de mecánica. Cuando no se está interesado en la magnitud tiempo t , la conservación de la energía mecánica es frecuentemente mucho más fácil de usar que la segunda ley de Newton (figura 7.7). Como la conservación de la energía mecánica se deduce de las leyes de Newton, los problemas que pueden resolverse con aquella propiedad también pueden deducirse directamente de las leyes de Newton, aunque frecuentemente siguiendo un camino mucho más fácil.

(Tipler, 1993, p. 178)

En los dos párrafos precedentes se pone en evidencia que el autor incurre en un error metodológico al afirmar que un principio (en el primero) y una ley (en el segundo) se deducen de otros principios físicos. Una situación similar se reportó para los LT españoles de Educación Secundaria (Solbes y Tarín, 1998). Por otro lado, también se detectó un error por omitir afirmar que se trata de un sistema aislado. En dicho LT, se parte del teorema de trabajo y energía cinética ($W_{total} = \Delta E_c$), se establece que este trabajo total es igual a la suma del trabajo externo, y de los trabajos internos conservativo y no conservativo. Luego, se apela a la relación entre el trabajo conservativo y la variación de energía potencial y se combinan estos resultados. El procedimiento seguido se muestra en la Figura 2. Obsérvese que, si se sigue la serie de sustituciones sugeridas por el autor, no se llega a la expresión $W_{total} = \Delta E_{mec} - W_{nc}$ sino a $W_{ext} + W_{nc} = \Delta E_{mec}$. Además, si bien es adecuado explicitar que la energía mecánica se conserva porque el trabajo realizado por las fuerzas no conservativas es cero, faltaría expresar que se trata de un sistema aislado (en tal caso $W_{ext} = 0$) y si las fuerzas internas no conservativas no realizan trabajo, se cumple que $W_{nc} = 0$, en consecuencia, $\Delta E_{mec} = 0$. Pero si se omite decir que el sistema es aislado la variación de la energía mecánica será igual al trabajo de las fuerzas externas. Esto ilustra como los sistemas lingüístico y simbólico presentes en los LT, en ocasiones, no se articulan coherentemente y llevan a resultados equívocos e incluso contradictorios.

7.1 Conservación de la energía mecánica

El trabajo total realizado sobre cada partícula de un sistema es igual al cambio de la energía cinética ΔE_{ci} de esa partícula, por lo que el trabajo total realizado por todas las fuerzas W_{total} es igual al cambio en la energía cinética del sistema $\Delta E_{c_{sist}}$

$$W_{total} = \sum \Delta E_{ci} = \Delta E_{c_{sist}} \quad (7.1)$$

Las fuerzas internas pueden ser conservativas y no conservativas. El trabajo total, cambiado de signo, realizado por todas las fuerzas internas conservativas $-W_c$ es igual al cambio de la energía potencial del sistema ΔU_{sist} :

$$-W_c = \Delta U_{sist} \quad (7.2)$$

El trabajo total realizado por todas las fuerzas es igual a la suma del trabajo realizado por todas las fuerzas externas W_{ext} , más el trabajo realizado por todas las fuerzas internas no conservativas W_{nc} , más el trabajo realizado por todas las fuerzas internas conservativas W_c :

$$W_{total} = W_{ext} + W_{nc} + W_c$$

de donde reordenando los términos queda $W_{ext} + W_{nc} = W_{total} - W_c$. Sustituyendo de las ecuaciones 7.1 y 7.2 tenemos

$$W_{ext} + W_{nc} = \Delta E_{c_{sist}} + \Delta U_{sist} \quad (7.3)$$

El término de la derecha puede simplificarse de modo que

$$\Delta E_{c_{sist}} + \Delta U_{sist} = \Delta(E_{c_{sist}} + U_{sist}) \quad (7.4)$$

La suma de la energía cinética E_{ci} y la energía potencial U_{sist} de un sistema se denomina **energía mecánica total**, E_{mec} :

$$E_{mec} = E_{ci} + U_{sist} \quad (7.5)$$

DEFINICIÓN —ENERGÍA MECÁNICA TOTAL

Combinando las ecuaciones 7.4 y 7.5, y sustituyendo en la ecuación 7.3 se obtiene

$$W_{total} = \Delta E_{mec} - W_{nc}$$

La energía mecánica de un sistema se conserva ($E_{mec} = \text{constante}$) si el trabajo total realizado por todas las fuerzas no conservativas es cero.

$$E_{mec} = E_{ci} + U_{sist} = \text{constante} \quad (7.6)$$

CONSERVACIÓN DE LA ENERGÍA MECÁNICA

FIGURA 2: Deducción de la conservación de la energía a partir del teorema de trabajo y energía cinética (Tipler, 1993, pp. 172-173). Se desliza un error por no afirmar explícitamente que se trata de un sistema aislado, esto es, $W_{ext} = 0$

Se analiza luego el caso en que fuerzas internas no conservativas realizan trabajo, por ejemplo, situaciones con fricción o fuerzas que producen deformaciones. Se advierte al lector de la necesidad de incluir el concepto de energía térmica porque las superficies y los objetos involucrados se “calientan”. En otros ejemplares, para dar cuenta de estos aumentos de temperatura se introduce el concepto de energía interna (B, F, J). Sin embargo, se infiere que se usan estos términos para identificar un tipo de energía que describe los mismos fenómenos, es decir, son vocablos diferentes pero que se tratan como sinónimos. Posteriormente, se consideran situaciones en que no puede ignorarse el trabajo de las fuerzas no conservativas, y se obtiene una expresión general para la conservación de la energía de un sistema. En palabras del autor:

Este resultado experimental se conoce como ley de conservación de la energía y es una de las leyes más importantes de la ciencia. Sea E_{sis} la energía total de un determinado sistema, $E_{entrada}$ la energía absorbida por el sistema y E_{salida} la energía cedida por el mismo. La ley de conservación de la energía establece:

$$E_{entrada} - E_{salida} = \Delta E_{sistema} \quad (7.8)$$

La energía total del universo es constante. La energía puede transformarse de una forma en otra, pero la energía no puede nunca ser creada o destruida.

La energía total E de muchos sistemas familiares de nuestra vida se pueden explicar completamente mediante la energía mecánica, E_{mec} , la energía térmica, $E_{térm}$, la energía química, $E_{quím}$. Si queremos incluir cualquier otra forma posible de energía, como lo son electromagnética y la nuclear, añadiremos otro término E_{otras} , y escribimos de modo general

$$E_{sistema} = E_{mec} + E_{térm} + E_{quím} + E_{otras} \quad (7.9).$$

(Tipler, 1993, pp.178-179)

En los demás ejemplares examinados, excepto F, se realizan ampliaciones del teorema de trabajo energía cinética hasta obtener el principio de conservación de la energía. Se encontraron expresiones como las que siguen. “La ley de conservación de la energía mecánica nace de la definición de energía potencial ($W=-\Delta U$) y del teorema de trabajo-energía ($W=\Delta K$), el cual a su vez obtuvimos de la segunda ley de Newton” (Resnick, Halliday y Krane, 2011, p. 263) y “el trabajo efectuado por las fuerzas no conservativas que actúan sobre un sistema es igual al cambio de energía mecánica” (Wilson; Buffa y Lou, 2007, p. 162). En la última cita se omite decir que la afirmación es válida para sistemas aislados. En J, todo el desarrollo que se presenta se sustenta en sucesivas ampliaciones del teorema de trabajo y energía cinética. Los autores son redundantes en informar al lector en que procederán de este modo.

En D, si bien no se deriva explícitamente la conservación de la energía del teorema de trabajo y energía cinética, el mismo subyace a las justificaciones que ofrece el autor. La conservación de la energía no se formula matemáticamente, se establece en forma coloquial que: “El estudio de las diversas formas de energía y sus transformaciones entre sí ha conducido a una de las grandes generalizaciones de la física: la ley de conservación de la energía [...] (Hewitt, 2004, p. 111). En H se procede de manera similar. Vale aclarar que en D y en H no se aborda el tema fuerzas conservativas por lo que combinar el teorema de trabajo y energía cinética con el trabajo conservativo y la variación de energía potencial está fuera del alcance de estos LT (Zang y Giacosa, 2021).

Si bien en A, la tendencia es similar, se considera oportuno realizar algunas aclaraciones sobre lo detectado. En la siguiente frase: “Cuando una fuerza que actúa en una partícula es conservativa, se puede combinar la ec. (8.17) con la ecuación general (8.13), lo que nos da $E_{K,B} - E_{K,A} = E_{P,B} - E_{P,A}$ o sea $(E_K + E_P)_B = (E_K + E_P)_A$ (8.27)” (Alonso y Finn, 1976, p.219), que forma parte del sistema lingüístico, se plantea la conservación de la energía para una partícula, asignándole en consecuencia una energía potencial. Los autores asumen implícitamente que el otro elemento que forma parte del sistema es la Tierra, el resorte, etc. Esta suposición puede no llegar a ser evidente para un lector novato, además contradice que la energía potencial es siempre una propiedad compartida por un sistema de dos o más partículas (Sefton 2004). Luego, se considera el caso de sistemas constituidos por un “gran” número de partículas, y los autores indican que el trabajo total externo debe ser expresado como “la suma de dos partes: $Q+W_{ext}$. Aquí W_{ext} expresa el trabajo externo que puede ser computado como el producto de una fuerza promedio por una distancia [...] y Q representa el trabajo externo cuando tiene que ser computado como calor”. (Alonso y Finn, 1976, p. 274). Posteriormente se enuncia la primera ley de la termodinámica y se la presenta según la ecuación $U-U_0=Q+W_{ext}$, explicitando que se trata de la ley de conservación de la energía aplicada a un sistema de un gran número de partículas. Cabe aclarar que solamente en A y en E se menciona de esta forma a la conservación de la energía. Al respecto, en E, se presentan problemas de mecánica que requieren un análisis termodinámico dado que las superficies y los objetos incluidos en el sistema sufren incrementos de temperatura. Se expone la ecuación $\Delta K+\Delta U+\Delta E_{int}=W_{ext}$ y se la amplía para las situaciones en que el sistema intercambia energía con el entorno a través de calor, reescribiéndose como $\Delta K+\Delta U+\Delta E_{int}=W_{ext}+Q$ o, de manera abreviada, como $\Delta E_{total}=W_{ext}+Q$.

Como ya se indicó, F es el único ejemplar en el que la conservación de la energía se presenta como un principio general. Así, puede leerse:

Ahora se considera el análisis de situaciones físicas aplicando la aproximación de energía para dos tipos de sistemas: sistemas no aislados y aislados. Para sistemas no aislados se investigarán formas en que la energía cruza la frontera del sistema, lo que resulta en un cambio en la energía total del sistema. Este análisis conduce a un principio muy importante llamado conservación de energía. El principio de conservación de la energía se extiende más allá de la física y se aplica a organismos biológicos, sistemas tecnológicos y situaciones de ingeniería. (Serway y Jewett, 2009, p. 195)

Luego se presentan diferentes mecanismos por los que la energía puede cruzar la frontera de un sistema. Se plantea que por el momento sólo se ha desarrollado el trabajo como una forma de transferir energía a un sistema y seguidamente se mencionan y describen otras formas de transferencia de energía hacia o desde un sistema. No obstante, se aclara que los detalles de estos procesos se estudiarán en otras secciones del libro. Posteriormente se resalta la adecuación del principio de conservación de la energía a los datos experimentales y al hecho de que, hasta el momento, no se haya encontrado ninguna violación al mismo. Así puede leerse:

Una característica central de la aproximación de energía es la noción de que no se puede crear ni destruir energía, la energía siempre se conserva. Esta característica se ha comprobado en incontables experimentos, y ningún experimento ha demostrado jamás que este enunciado sea incorrecto. Debido a eso, si la cantidad total de energía en un sistema cambia, sólo es porque la energía cruzó la frontera del sistema mediante un mecanismo de transferencia, como alguno de los métodos mencionados anteriormente. Este enunciado general del principio de conservación de la energía se describe matemáticamente como la ecuación de conservación de energía del modo siguiente:

$$\Delta E_{sistema} = \sum T \quad (8.1).$$

donde $E_{sistema}$ es la energía total del sistema, incluidos todos los métodos de almacenamiento de energía (cinética, potencial e interna) y T (por transferencia) es la cantidad de energía transferida a través de la frontera del sistema por algún mecanismo. (Serway y Jewett, 2009, p. 197)

Luego los autores proponen trabajar con una versión ampliada de la ecuación detallando los significados de cada uno de sus términos. Se muestra entonces que la conservación de la energía mecánica y el teorema de trabajo energía cinética son casos especiales de la ecuación precedente.

B. Acerca de la forma en que se enuncia la conservación de la energía

En algunos ejemplares (D, G, J) se encontraron frases que contemplan a la conservación de la energía de manera negativa: “La energía no se puede crear ni destruir, se puede transformar de una forma en otra, pero la cantidad total de energía nunca cambia” (Hewitt, 2004, p.111); “Aunque la energía se transforme de una forma en otra, nunca se crea o se destruye” (Tipler, 1993, p. 172); “...la energía es una cantidad que se puede convertir de una forma en otra, pero no puede crearse ni destruirse” (Young y Freedman, 2009, p.181). Cabe aclarar que en G y en J se encontraron frases, que dan cuenta de ambas enunciaciones; a continuación, se transcribe un ejemplo.

...E es constante; tiene el mismo valor en y_1 que en y_2 . No obstante, dado que las posiciones y_1 y y_2 son puntos arbitrarios en el movimiento del cuerpo, la energía mecánica total E tiene el mismo valor en todos los puntos durante el movimiento.

(Young y Freedman, 2009, p. 215)

En otros (B, C) se la enuncia de manera positiva, por ejemplo:

Cuando se habla de que una magnitud se "conserva", significa que su valor no cambia con el tiempo. Su valor en el instante inicial es igual a su valor en el instante final, e igual en todos los tiempos intermedios. Si la energía de un sistema se conserva, su energía total no cambia, aunque alguna parte de ella puede que cambie de forma o de naturaleza. (Gettys et al., 2005, p. 188)

El aspecto fundamental de todos los tipos de energía es que la suma de todos los tipos, la energía total, es la misma antes y después de que ocurra cualquier proceso: es decir, la energía es una cantidad que se conserva. (Giancoli, 2009, p. 172)

En dos ejemplares (A, H), no se encontró que el sistema lingüístico contenga afirmaciones que puedan ser encasilladas como una enunciación positiva o una enunciación negativa. Sin embargo, el sistema simbólico da cuenta de que se la considera según la primera vía. Además, en la aplicación de la conservación de la energía para el análisis y resolución de problemas, subyace que la cantidad de energía que hay al principio de un proceso es igual a la que hay después del mismo.

En tres ejemplares (G, I, J) se conjugan simultáneamente la enunciación positiva como la negativa. Dado que por un lado se dice que hay la misma cantidad de energía al inicio como al final de que ocurra un fenómeno o proceso y, por el otro, se plantea que la energía no se crea y no se destruye.

En E, se encontraron referencias al respecto en la sección en que se presenta la conservación de la energía mecánica para sistemas aislados. Allí se encontró una enunciación positiva de la conservación de la energía:

Si el cambio de una magnitud cualquiera en el sistema es cero, la magnitud habrá de permanecer constante y por ello podemos reescribir así a la ecuación 12-14:

$$E_i = E_f \quad \text{o} \quad K_i + U_i = K_f + U_f \quad (12.15)$$

donde los subíndices i y f indican los estados inicial y final del sistema. Es decir, el valor inicial de la energía mecánica total es igual al valor final.

La ecuación 12-15 es la expresión matemática de ley de conservación de la energía mecánica:

La energía mecánica total permanece constante en un sistema aislado donde sólo intervienen fuerzas conservativas.

(Resnick et al., 2011, p. 262)

En F, la enunciación de la conservación de la energía mecánica se realiza de manera positiva. Así puede leerse:

Si hay fuerzas no conservativas actuando dentro del sistema, la energía mecánica se transforma en energía interna como se discutió en la sección 7.7. Si fuerzas no conservativas actúan en un sistema aislado, la energía total del sistema se conserva, aunque no la energía mecánica. En este caso, la conservación de energía del sistema se expresa como

$$\Delta E_{\text{sistema}} = 0 \quad (8.9)$$

Donde E_{sistema} incluye todas las energías cinética, potencial e interna. Esta ecuación es el enunciado más general del modelo de sistema aislado.

Ahora escriba explícitamente los cambios de energía en la ecuación 8.6:

$$(K_f - K_i) + (U_f - U_i) = 0$$

$$K_f + U_f = K_i + U_i \quad (8.10).$$

(Serway y Jewett, 2009, p. 199)

C. Acerca del significado que se atribuye a la conservación

Se detectó que se interpreta a la energía como una constante del movimiento. Esto coincide con lo señalado por Bauman (1992). Se citarán algunas frases ilustrativas:

En este capítulo se estudiará la ley de conservación de la energía. Cuando se habla de que una magnitud se "conserva", significa que su valor no cambia con el tiempo. Su valor en el instante inicial es igual a su valor en el instante final, e igual en todos los tiempos intermedios. Si la energía de un sistema se conserva, su energía total no cambia, aunque alguna parte de ella puede que cambie de forma o de naturaleza. (Gettys et al., 2005, p. 188)

Las ecuaciones 8-10 expresan un útil y profundo principio respecto a la energía mecánica total, es decir, que se trata de una cantidad que se conserva; en tanto que ninguna fuerza no conservativa efectúe trabajo, de manera que la cantidad $E = K + U$ en algún tiempo inicial 1 es igual a $K + U$ en cualquier tiempo 2 posterior. (Giancoli, 2009, p. 190)

Una cantidad que siempre tiene el mismo valor es una cantidad que se conserva. Si sólo la fuerza de gravedad efectúa trabajo, la energía mecánica total es constante, es decir, se conserva (figura 7.3). Este es nuestro primer ejemplo de la conservación de la energía mecánica.

Cuando lanzamos una pelota al aire, su rapidez disminuye al subir, a medida que la energía cinética se convierte en energía potencial: $\Delta K < 0$ y $\Delta U_{\text{grav}} > 0$. Al bajar, la energía potencial se convierte en cinética y la rapidez de la pelota aumenta: $\Delta K > 0$ y $\Delta U_{\text{grav}} < 0$. No obstante, la energía mecánica total (cinética más potencial) es la misma en todos los puntos del movimiento, siempre que ninguna otra fuerza realice trabajo sobre la pelota (la resistencia del aire debe ser insignificante).

(Young y Freedman, 2009, p. 215)

En H, puede leerse: “*Conservación de la energía mecánica: En ausencia de resistencia del aire o de otras fuerzas disipadoras, la suma de las energías potencial y cinética es una constante, siempre que no se añada ninguna otra energía al sistema*” (Tippens, 2007, p. 167). Y cuando se aborda la conservación de la energía en situaciones donde el trabajo de la fuerza de fricción no puede ignorarse, se ofrece una enunciación algo distinta, en la que se omite decir que el sistema debe ser aislado para que la afirmación sea legítima: “*...La energía total de un sistema es siempre constante, aun cuando se transforme la energía de una forma a otra dentro del sistema*” (Tippens, 2007, p. 168).

En E, se establece que “*La energía mecánica total permanece constante en un sistema aislado donde sólo intervienen fuerzas conservativas*” (Resnick et al., 2011, p.262). Vale aclarar que los autores son redundantes en asegurar que basan su desarrollo en el supuesto de que las fuerzas en el sistema son conservativas. En la sección en que se aborda la conservación de la energía para sistemas no aislados, se contempla el segundo de los significados. Una tendencia similar se observó en A, primero se la exhibe como una magnitud constante del sistema y luego, cuando se la reformula y presenta como la primera ley de la termodinámica, se contempla en el segundo de los sentidos señalados por Bauman (1992).

En cinco ejemplares (D, E, F, G, H), se emplea el término conservación como un invariante del universo. Se citan algunos fragmentos ilustrativos: “*La energía no se puede crear ni destruir, se puede transformar de una forma en otra, pero la cantidad total de energía nunca cambia*” (Hewitt, 2004, p.111); “*La energía total del universo es constante. La energía puede transformarse de una forma en otra, pero la energía no puede nunca ser creada o destruida*” (Tipler, 1993, p. 179); “*Una característica central de la aproximación de energía es la noción de que no se puede crear ni destruir energía, la energía siempre se conserva*” (Serway y Jewett, 2009, p.197);

Siempre que la energía de un sistema cambia, podemos explicar el cambio por la aparición o desaparición de energía en algún otro lugar. Esta observación experimental es la ley de conservación de la energía, una de las más importantes y fundamentales leyes de toda la ciencia. Aunque la energía se transforme de una forma en otra, nunca se crea o se destruye.

(Tipler, 1993, p. 172)

En I, los autores exponen la conservación de la energía atribuyéndole ambos sentidos:

Cuando decimos que una cantidad física se conserva, queremos decir que es constante, o que tiene un valor constante [...] No obstante, hay que tener presente que las cantidades generalmente se conservan sólo en condiciones especiales. Una de las leyes de conservación más importantes es la que se refiere a la conservación de la energía [...] Una afirmación conocida es que la energía total del universo se conserva. (Wilson et al., 2007, p. 155)

D. Acerca del uso del sistema lingüístico vinculado a la conservación de la energía

En A se parte de la premisa de que todas las fuerzas internas son conservativas. Esto podría interpretarse como que el solo hecho de que en el sistema estén presentes fuerzas no conservativas, es suficiente para asegurar que la energía no se conserva. Una formulación similar que elimina esta ambigüedad sería plantear que todas las fuerzas internas que realizan trabajo son conservativas. En efecto, si las fuerzas no conservativas no realizan trabajo, la energía del sistema no cambia, según advierten Chernicoff (1991) y Cudmani (1995).

Por otro lado, en B, se plantea que: “*Si todas las fuerzas que realizan trabajo sobre el objeto son conservativas, el sistema se denomina un sistema conservativo*” (Gettys et al., 2005, p. 188) para luego establecer que la energía mecánica se conserva en sistemas conservativos. Hay que señalar aquí que, a diferencia de lo observado en A, los autores son muy cautelosos cuando señalan que, si las fuerzas que hacen trabajo son conservativas, la energía se conserva. Es decir, de lo expuesto en este ejemplar, se infiere que el simple hecho de estar presentes las fuerzas no conservativas no es suficiente para asegurar la variación o no de la energía mecánica, estas deben efectuar trabajo para que esta cambie. En otros ejemplares este aspecto no es tan puntillosamente tenido en cuenta. Por ejemplo, en F, se afirma: “*Si dentro del sistema no actúan fuerzas no conservativas, se aplica la conservación de energía mecánica para resolver varios problemas*” (Serway y Jewett, 2009, p. 195). En dicho fragmento los autores entienden que el hecho de que no actúan fuerzas no conservativas es equivalente a decir que las fuerzas no conservativas no realizan

trabajo. Además, en el contexto de resolución de un problema que involucra un sistema de bloque resorte, puede leerse: “La energía mecánica total del sistema se conserva, porque sobre los objetos del sistema aislado no actúan fuerzas no conservativas” (Serway y Jewett, 2009, p. 212). En otro problema similar, en el que se incluye la fuerza de rozamiento, se plantea: “En este caso, la energía mecánica $E_{mec} = K + U_s$ del sistema **no** se conserva porque una fuerza de fricción actúa en el bloque” (Serway y Jewett, 2009, p. 212). Ambos enunciados debieran ser reformulados levemente de manera de no fomentar ideas alternativas.

En G, la situación tiene rasgos distintivos, por un lado se encontraron frases en que estas cuestiones están correctamente señaladas: “Si no hay fuerzas externas que realicen trabajo sobre el sistema y si las fuerzas conservativas internas son las únicas fuerzas internas que realizan trabajo, el trabajo que realizan es igual al cambio en la energía cinética del sistema” (Tipler, 1993, p. 171); “La energía mecánica del sistema Tierra-esquiadora se conserva, porque la única fuerza que realiza trabajo es la fuerza conservativa, interna, de la gravedad” (Tipler, 1993, p. 171). Paralelamente, se hallaron afirmaciones donde esto no se contempla: “La utilidad de la energía mecánica está limitada por la presencia de fuerzas no conservativas, como el rozamiento. Cuando en un sistema está presente el rozamiento, la energía mecánica del sistema no se conserva, sino que disminuye” (Tipler, 1993, p. 172).

Análogamente, en E, si bien al inicio de la sección se afirma que se supondrá que todas las fuerzas internas que realizan trabajo son conservativas, en lo que sigue no vuelve a insistirse en eso y simplemente se señala que sólo intervienen fuerzas conservativas. Cuando los autores plantean que sólo están operando fuerzas conservativas, están dando el mensaje de que sólo fuerzas conservativas hacen trabajo, no está explícito que para que la energía se conserve pueden existir fuerzas no conservativas en el sistema siempre y cuando estas no hagan trabajo.

Según la ecuación 12-12, en un sistema aislado donde sólo operan fuerzas conservativas, cualquier cambio de su energía cinética ha de ser equilibrado por un cambio igual y contrario de su energía potencial, así que la suma de estas modificaciones es cero.

Podemos interpretar la ecuación 12-12 como $\Delta(K_{total} + U_{total})=0$. Es decir, cuando sólo intervienen fuerzas conservativas, el cambio de la magnitud $K_{total} + U_{total}$ es cero. Esta magnitud la definimos como la energía mecánica total E_{total} del sistema:

$$E_{total} = K_{total} + U_{total} \quad (12.13)$$

Utilizando esta definición de la energía mecánica total, la ecuación 12-12 queda así:

$$\Delta(K_{total} + U_{total}) = \Delta E_{total} = 0 \quad (12.14)$$

[...] La energía mecánica total permanece constante en un sistema aislado donde sólo intervienen fuerzas conservativas.

(Resnick et al., 2011, p.261-262)

Estos fragmentos ponen de manifiesto los inconvenientes que podrían llegar a surgir y los errores conceptuales que los LT podrían inducir, dado que muchas de las dificultades de los estudiantes pueden aparecer por un uso descuidado del lenguaje Jewett (2008c).

V. REFLEXIONES FINALES E IMPLICANCIAS PARA LA DOCENCIA

Del análisis realizado se desprende que la conservación de la energía, en casi todos, se obtiene reformulando el teorema de trabajo y energía cinética de manera que explique las nuevas situaciones que se van introduciendo (sistemas no aislados, sistemas con fuerzas internas no conservativas que realizan trabajo, etc.). Solamente en un ejemplar (Serway y Jewett, 2009) se sigue el camino inverso. Se presenta la ecuación de conservación de la energía de un modo general y sin demostrarla, luego se obtienen la conservación de la energía mecánica y el teorema de trabajo y energía cinética como casos particulares de la misma. Además, en el desarrollo de las ecuaciones que presentan de manera simbólica la conservación de la energía, se encontraron inconvenientes en varios ejemplares porque se omite afirmar que los resultados que se presentan son ciertos para sistemas aislados.

En un ejemplar (Alonso y Finn, 1976), se considera la conservación de la energía para sistemas constituidos por un único elemento. De este modo, se asigna energía potencial a la partícula aislada asumiendo implícitamente que el otro elemento constitutivo del sistema es la Tierra, el resorte, etc. Esta inferencia la debe realizar el lector, y reconocer que las fuerzas pueden ser conservativas o no conservativas independientemente del sistema. La delimitación del sistema no afecta la naturaleza conservativa o no conservativa de la fuerza, pero sí las diferencia en internas o externas. Por ejemplo, si se considera un bloque que se encuentra unido a un resorte comprimido apoyado sobre una superficie horizontal rugosa, hay varias elecciones posibles del sistema. Así, si el sistema está constituido por el bloque y el resorte, la fuerza que ejerce el resorte es conservativa e interna, y la fuerza de rozamiento es no conservativa y externa. Si se amplía el sistema incluyendo a la superficie de apoyo, ambas fuerzas conservan su carácter conservativo o no, pero ahora todas son internas.

La conservación de la energía se enuncia, mayoritariamente, de manera positiva. Las ventajas de realizarlo de este modo fueron reportadas desde la investigación educativa y tienen que ver con el hecho de que esta enunciación ofrece pistas de cómo encarar la resolución de problemas apelando a las ideas de conservación. En cuanto al significado atribuido a la conservación, depende en gran medida de la sección del libro que se esté analizando, se ha observado que es entendida como un valor constante del sistema en el caso de sistemas aislados en que sólo efectúan trabajo las fuerzas conservativas y al ampliar el tipo de sistemas bajo estudio, se la concibe como un invariante del universo.

En los LT se utilizan expresiones que podrían favorecer la concepción errónea de que la presencia de fuerzas no conservativas en los sistemas es sinónimo de la no conservación de la energía. Si se es cuidadoso con el lenguaje, reformulando ligeramente los enunciados declarativos de manera que quede claro que sólo si las fuerzas no conservativas realizan trabajo en el sistema, la energía no se conserva, podrían evitarse tales confusiones. En las aseveraciones halladas se fomentaría la idea de que la acción de las fuerzas no conservativas estaría limitada únicamente a la conversión de energía mecánica en otro tipo de energía, excluyéndose otros efectos que las mismas provocan.

En los capítulos de mecánica explorados es reiterativo presentar a la fuerza de fricción como el ejemplo clásico de fuerzas no conservativas, las cuáles, cuando realizan trabajo, disminuyen la energía mecánica del sistema. Al respecto, Keeports (2006) señala que la conceptualización de las fuerzas conservativas y no conservativas se vería beneficiada si en las clases y en los LT se diversificaran los ejemplos. La discusión sobre el carácter no conservativo de fuerzas como las de tensión para jalar cuerpos o las fuerzas para empujar objetos, permitirían mostrar que el trabajo de dichas fuerzas no siempre es negativo y en consecuencia, podrían incrementar la energía mecánica del sistema. Además daría lugar al análisis de la existencia de varios trabajos de fuerzas no conservativas cuya suma sea nula. Por ejemplo, si se considera un bloque que es empujado sobre un plano horizontal rugoso por una fuerza no conservativa que es igual en magnitud a la fuerza de fricción cinética pero de sentido contrario, el trabajo neto realizado por ambas es cero, aún cuando los trabajos individuales no lo sean.

El principal aporte que deja este trabajo de revisión para las autoras tiene que ver con la necesidad de reflexionar sobre lo que significa la conservación de la energía. Se estima conveniente aclarar a los estudiantes que lo que se desarrolla en los LT habituales, desde la mecánica clásica, no es un principio o postulado en el sentido epistemológico del término, sino que es un teorema que se obtiene a partir de las leyes de Newton. Para ello es pertinente la afirmación de Marion (1975):

Debemos reiterar que no hemos demostrado las leyes de conservación del ímpetu, del momentum cinético y de la energía; únicamente hemos deducido diversas consecuencias de las leyes de Newton. [...] Ahora bien, nos hemos enamorado de estos teoremas hasta tal extremo que los hemos elevado a la categoría de "principios", llegando a insistir en su validez para toda la teoría física, incluso para aquellas que se aplican a situaciones en las cuales la mecánica de Newton no es válida, como son, por ejemplo, la interacción de cargas eléctricas en movimiento o los sistemas cuánticos. Para situaciones como estas últimas no tenemos realmente "principios" de conservación, sino más bien postulados de conservación que forzamos dentro de la teoría... (Marion, 1975, p. 84)

Con este trabajo se espera realizar una contribución en la investigación educativa centrada en la calidad de los LT y la influencia que ellos puedan tener en el aprendizaje de Física universitaria.

Nota: Este trabajo se realizó en el marco del Proyecto de investigación Código 16Q-661 registrado en la Secretaría de Investigación y Posgrado de la FCEQyN (UNaM).

REFERENCIAS

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

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

Álvarez Méndez, J. (2001). *Entender la Didáctica, entender el Curriculum*. Madrid: Miño y Dávila

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

Bauman, R. (1992). Physics that textbook writers usually get wrong: II. Heat and energy. *The Physics Teacher*, 30(6), 353-356.

- Campanario, J. y Otero, J. (2000). La comprensión de los libros de texto, en F. Perales y P. Cañal (Eds.). *Didáctica de las Ciencias Experimentales* (323-338). Alcoy: Marfil.
- 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.
- Coelho, R. (2009). On the concept of energy: History and philosophy for science teaching. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 1(1), 2648-2652.
- Concari, S. y Giorgi, S. (2000). Los problemas resueltos en textos universitarios de Física. *Enseñanza de las Ciencias*, 18(3), 381-390.
- Cudmani, C. (1995). Traslación y rotación simultáneas. *Revista de Enseñanza de la Física*, 8(1), 31-34.
- de Pro, A. (2003). La enseñanza y el aprendizaje de la física. En M. P. Jiménez Alexandre; A. Caamaño; A. Oñorbe; E. Pedrinaci y A. de Pro. *Enseñar Ciencias*. Barcelona: Graó.
- Duit, R. (1981a). Understanding Energy as a Conserved Quantity--Remarks on the Article by RU Sexl. *European Journal of Science Education*, 3(3), 291-301.
- Duit, R. (1981b). Students' Notions About the Energy Concept--Before and After Physics Instruction. Conference on "Problems Concerning Students' Representation of Physics and Chemistry Knowledge". Alemania.
- Feynman, R.; Leighton, R. y Sands, M. (1987). *Física*. vol. 1. Bogotá: Adison Wesley Iberoamericana.
- García García, E. (1993). La comprensión de textos: Modelo de procesamiento y estrategias de mejora. *Didáctica (Lengua y literatura)*.
- Gattoni, A. y Gangoso, Z. (1995). Las instituciones formadoras de profesores de Física. El formador de formadores. *Memorias de la REF IX*. Salta. Argentina, 533-539.
- Gettys, E.; Keller, F. y Skove, M. (2005.) *Física para ciencias e ingeniería. Tomo I*. 2.^a ed. México: McGraw Hill.
- Giacosa, N.; Vergara M.; Zang, C.; López J.; Galeano R.; Godoy N.; Maidana, J. y Such A. (2015). Libros de texto y Programas Analíticos de Física en carreras de Ingeniería de la UNaM. *Revista de Enseñanza de la Física*, 27(2), 109-207.
- Giancoli, D. (2009). *Física para ciencias e ingeniería con física moderna. Volumen I*. 4.^a ed. México: Pearson Educación.
- Gimeno, J. y Pérez, A. (2005). *Comprender y transformar la enseñanza*. Madrid: Morata.
- Hewitt, P. (2004). *Física Conceptual*. 9.^a ed. México: Pearson Educación.
- Hierrezuelo, J., y Molina, E. (1990). Una propuesta para la introducción del concepto energía en el Bachillerato. *Enseñanza de las Ciencias*, 8(1), 23-30.
- 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 IV: A Global Approach to Energy. *The Physics Teacher*, 46(4), 210-217.
- Jewett Jr, J. W. (2008c). Energy and the Confused Student II: Language. *The Physics Teacher*, 46(2), 149-153.
- Keepports, D. (2006). The common force: conservative or non-conservative? *Phys. Educ.* 41, 219-222
- Lehrman, R. (1973). Energy is not the ability to do work. *The Physics Teacher*, 11(1), 15-18.

- Marion, J. (1975). *Dinámica clásica de las partículas y sistemas*. 2.^a ed. España: Reverté.
- Martínez Bonafé, J. (2002). *Políticas del libro escolar*. Madrid: Morata.
- Resnick, R.; Halliday, D. y Krane, K. (2011). *Física. Vol. 1*. 5.^a ed. México: Grupo Editorial Patria.
- Sefton, I. (2004). Understanding energy. In *Proceedings of 11th Biennial Science Teachers' Workshop, the University of Sydney*.
- Serway, R. y Jewett, J. (2009) *Física para ciencia e ingeniería con Física Moderna. Vol. 1*. 7.^a ed. México: Cengage Learning.
- Sexl, R. U. (1981). Some observations concerning the teaching of the energy concept. *European Journal of Science Education*, 3(3), 285-289.
- Solbes, J. y Tarín, F. (1998). Algunas dificultades en torno a la conservación de la energía. *Enseñanza de las Ciencias*, 16(3), 387-397.
- Solomon, J. (1985). Teaching the conservation of energy. *Physics education*, 20(4), 165-170.
- Tipler, P. (1993). *Física. Tomo 1*. 3.^a ed. España: Reverté.
- Tippens, P. (2007) *Física, conceptos y aplicaciones*. 7.^a ed. Perú: McGraw Hill.
- Trumper, R. (1991). Being constructive: An alternative approach to the teaching of the energy concept: part one. *International Journal of Science Education*, 13(1), 1-10.
- Trumper, R. (1997). Applying conceptual conflict strategies in the learning of the energy concept. *Research in Science & Technological Education*, 15(1), 5-18.
- Warren, J. (1982). The nature of energy. *European journal of science education*, 4(3), 295-297.
- Watts, D. (1983). Some alternative views of energy. *Physics education*, 18(5), 213.
- 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. y Giacosa, N. (2021). Fuerzas conservativas: su abordaje en libros de texto de física universitaria. *Revista De Enseñanza De La Física*, 33, 673–680.