

# Identificación de los sistemas físicos en el estudio de procesos energéticos en libros universitarios de Física

## Identification of Physical Systems in the Study of Energy Processes in University Physics Textbooks

Claudia Zang<sup>1\*</sup>, Norah Giacosa<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Ciencias Exactas, Químicas y Naturales, Universidad Nacional de Misiones. Félix de Azara 1552, Posadas, Misiones.

\*E-mail: [claudia.zang@fceqyn.unam.edu.ar](mailto:claudia.zang@fceqyn.unam.edu.ar)

### Resumen

Se realizó la inspección de diez libros de texto universitarios usados en Argentina, mediante técnicas de análisis de contenido, con el propósito de describir si se explicitan los sistemas de interés en el desarrollo teórico de los conceptos energía, trabajo, teorema de trabajo-energía cinética y conservación de la energía. Se encontró que en una fracción importante de textos se deslizan frases que podrían reforzar conceptualizaciones inadecuadas como asignar energía a objetos individuales. Además, en la mayoría de ellos se destina poco espacio a la explicitación de los sistemas subyacentes y la identificación de las interacciones que éstos tienen con su entorno. Esto podría dificultar la comprensión por parte de los estudiantes de que el tipo de energía presente en el sistema está condicionado por la elección que se realiza del mismo.

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

### Abstract

An inspection of ten university textbooks used in Argentina was carried out using content analysis techniques, with the purpose of describing whether the systems of interest are made explicit in the theoretical development of the concepts of energy, work, the work-energy theorem, and the conservation of energy. It was found that in a significant portion of the texts, phrases are used that could reinforce inadequate conceptualizations, such as assigning energy to individual objects. Additionally, in most of them, little space is dedicated to making the underlying systems explicit and identifying the interactions they have with their surroundings. This could hinder students' understanding that the type of energy present in the system is conditioned by the choice made of that system.

**Keywords:** Physics; Textbooks; University; Energy; Work; Conservation of energy.

## I. INTRODUCCIÓN

La energía tiene un carácter unificador en la Física, su estudio trasciende al campo de la mecánica, donde, generalmente, es abordada por primera vez en la enseñanza formal. Es un concepto con una carga importante de ideas intuitivas que a veces contradicen el conocimiento científico establecido.

Las cuestiones ligadas a la conceptualización de la energía y del trabajo, al tratamiento dispensado a las fuerzas conservativas y sus vínculos con la energía potencial, a la presentación de la conservación de energía en LT fueron

objeto de estudio de trabajos de investigación anteriores. Se encontró que el sistema simbólico utilizado en la presentación del tema trabajo es heterogéneo puesto que se usan nomenclaturas iguales para denotar a variables diferentes y que la definición es ambigua dado que no se explicita cuál es el desplazamiento involucrado en la misma (Zang y Giacosa, 2020). En lo relativo al tratamiento del carácter conservativo de las fuerzas, los ejemplos que se exhiben involucran sistemas en los que, en la mayoría de los casos, las superficies de apoyo están estáticas. Lo cual implica que la fuerza normal es perpendicular al desplazamiento independientemente de la trayectoria y, en consecuencia, su trabajo es nulo. Esto podría inducir a pensar erróneamente que se trata de una fuerza conservativa (Zang y Giacosa, 2021). Asimismo, la conservación de la energía se obtiene como una generalización del teorema de trabajo y energía cinética, cuando los sistemas involucrados se complejizan y el teorema resulta insuficiente para dar cuenta de los intercambios energéticos que ocurren. Se la enuncia de manera positiva y concibiéndola como una constante del movimiento, como un invariante del universo (Zang y Giacosa, 2022).

En los trabajos citados, se advierte que en los LT analizados no se explicita cuáles son los sistemas involucrados en las descripciones y problemas resueltos. Los sistemas tienen un rol crucial en el estudio de fenómenos energéticos, tal como se propone en varios artículos. En ellos se analizan las dificultades que tienen los estudiantes para aplicar los conceptos de trabajo y energía a situaciones en las que no se puede ignorar la estructura interna de los sistemas, y se advierte acerca de los inconvenientes que pueden surgir en la resolución de problemas por una inadecuada elección de los mismos, cuestión que podría conducir a errores de cálculo y a explicaciones deficientes de los intercambios energéticos entre un sistema y su entorno. En virtud de la importancia que reviste el tema, y del hecho de que no está libre de controversia, sumado a las dificultades observadas en los estudiantes y que permean las propias prácticas docentes de las autoras, se consideró pertinente investigar si en los LT se explicita el sistema involucrado en la discusión de los conceptos de trabajo y energía, en la presentación del teorema de trabajo y energía cinética y de la ley de conservación de la energía, como así también si se contempla el carácter sistémico de la energía, el agente que hace trabajo, y el sistema sobre el que se realiza trabajo.

## II. ANTECEDENTES Y MARCO TEÓRICO

Un sistema se define como un conjunto de elementos interrelacionados que interactúan entre sí y con su entorno. En el contexto de la mecánica, un sistema puede consistir en un único objeto, dos o más objetos que interactúan, un objeto deformable y/o que gira. Independientemente de la forma del sistema, siempre existe un límite de sistema que lo rodea, denominado frontera, y que lo separa de todo lo que está fuera, conocido como entorno.

Existen dos enfoques para aproximarse al estudio de un sistema: el analítico y el sistémico. En el primero, se estudian los elementos del sistema de manera detallada y aislada, descomponiendo el problema en partes más manejables para entender cada componente por separado antes de integrarlos. En contraste, en el sistémico, se entiende al sistema como un todo, analizando las interacciones y relaciones entre sus partes, examinando cómo éstas afectan el comportamiento del sistema en su conjunto. Al respecto, Gay (1995), critica el enfoque analítico, que ha dominado la física desde la Grecia clásica hasta la actualidad, argumentando que este pierde la visión del conjunto y no siempre refleja adecuadamente la realidad, ya que el comportamiento del sistema no es solo la suma de sus partes. En el ámbito de la física, el enfoque sistémico permite una mejor comprensión de fenómenos complejos y se convierte en una herramienta esencial para analizar sistemas que no se pueden entender completamente a través de métodos reduccionistas.

Independientemente del enfoque seguido, numerosos investigadores han reportado el valor de identificar adecuadamente los sistemas que intervienen en los procesos energéticos. La definición de un sistema, cada vez que se invoca el concepto de trabajo, es de vital importancia y la falta de definición es particularmente peligrosa cuando se considera la energía potencial, por lo que a menudo aparecen errores de signos y otras inconsistencias (Bauman, 1992). Sefton (2004), afirma que, al buscar un ejemplo de energía potencial en cualquiera de los textos elementales, es seguro que se encontrará que un cuerpo como un ladrillo gana una cantidad  $mgh$  de energía potencial cuando se eleva a través de una altura  $h$ . Según Sefton (2004), el error no radica en el concepto de energía potencial o en la fórmula, sino en la declaración sutil de propiedad. El punto de vista adecuado es que el cambio en la energía potencial corresponde al sistema del ladrillo y la Tierra, debido a que la energía potencial surge de la interacción gravitacional entre ellos. Doménech *et al.* (2003), señalan que se habla sistemáticamente de la energía cinética de un objeto sin aclarar que ésta expresa la capacidad del objeto para interactuar con otros debido a que se desplaza a cierta velocidad con respecto a ellos. Sólo tiene sentido hablar de la energía cinética de un objeto en la medida en que existen otros con los cuales puede interactuar. En consecuencia, posee un carácter sistémico.

Hay trabajos que señalan que muchos estudiantes tienen dificultades para identificar correctamente los sistemas físicos relevantes en problemas energéticos, lo que afecta a su capacidad para usar el principio de conservación de la

energía, y a sostener concepciones erróneas como que la energía puede ser "perdida" en lugar de transferida a otro sistema o transformada en otra forma de energía dentro del sistema. Jewett (2008) argumenta que muchos LT y presentaciones de clase no utilizan un enfoque basado en sistemas al tratar problemas de energía, lo que resulta en dificultades para los estudiantes. Propone que los dos primeros pasos al abordar cualquier problema de energía deberían ser identificar y categorizar el sistema involucrado. Esto ayuda a clarificar cómo las fuerzas externas realizan trabajo sobre un sistema, cómo se transfiere y transforma la energía y a visualizar al trabajo como uno de los tantos mecanismos por los que la energía de un sistema puede variar, permitiendo que la primera ley de la termodinámica surja de modo natural a partir del principio de conservación de la energía visto en mecánica. También es categórico en señalar que se debe realizar un uso adecuado del lenguaje, evitando declaraciones incompletas. En particular, indica que se deben evitar recortes en lo discursivo especificando tanto la fuerza que realiza el trabajo como el sistema que recibe dicho trabajo. Esto concuerda con lo que se ha señalado en algunos reportes de investigación: los recortes que se realizan o las simplificaciones presentes en los LT pueden opacar la comprensión que podrían lograr los estudiantes que los consultan (Giorgi, Cámara, Marino y Carreri, 2017; Giorgi, Cámara, Marino, Carreri y Bonazzola, 2014; Marino, Giorgi, Cámara y Carreri, 2016).

En virtud de la problemática antes señalada, Lindsey, Heron y Schafer (2009), elaboraron y evaluaron la eficacia de un tutorial diseñado para mejorar la comprensión de los estudiantes sobre el trabajo y la energía en sistemas extensos y/o deformables. Contrastaron los resultados obtenidos por estudiantes universitarios en un pre test y en un post test luego de haber recibido instrucción con un tutorial específico. Los hallazgos mostraron una mejora significativa en la capacidad de los estudiantes para aplicar los conceptos de trabajo y energía a sistemas extendidos y hubo una notable reducción en los errores conceptuales que se habían identificado en la prueba inicial. Concluyeron que el diseño de actividades didácticas es esencial no solo para presentar conceptos correctos, sino que también para abordar y corregir activamente las concepciones erróneas. Cabe aclarar que el propósito de dicho trabajo era caracterizar la capacidad de los estudiantes para aplicar estos conceptos cuando la elección de los objetos que debían incluirse en el sistema fue sugerida por los investigadores. En un artículo posterior, Lindsey, Heron y Schafer (2012) examinaron el razonamiento de los estudiantes cuando no se les indicó qué elementos incluir en el sistema, o cuando se les pidió analizar una situación desde la perspectiva de dos o más opciones diferentes para el sistema de interés. Concluyeron que los estudiantes incurren en una serie de errores, como, la asignación de energía potencial a un objeto puntual y el doble cómputo de una interacción (incluyeron un término que se asociaba a la energía potencial y, a la vez, lo incluyeron para dar cuenta del trabajo externo realizado por una fuerza conservativa).

Aunque la prevalencia del enfoque analítico en los LT universitarios de física es un hecho conocido, no se encontraron autores que lo afirmen de manera explícita en las fuentes revisadas. Sólo se encontró una monografía, realizada en el marco de una carrera de especialización en una universidad de Colombia, que plantea una propuesta para la enseñanza de energía en el nivel medio desde un enfoque de sistemas e interacciones (Mejía, Castro y Meneses, 2002). A pesar de la importancia que tienen los sistemas, no se encontraron investigaciones recientes sobre el tema y menos aún, en cómo se abordan explícitamente en los LT.

### III. METODOLOGÍA

El enfoque metodológico empleado es el cualitativo. En cuanto a su alcance, corresponde a un estudio descriptivo, el tipo de diseño implementado es el de casos múltiples (Hernández Sampieri, Collado Fernández y Baptista Lucio, 2014). Se eligió una muestra de diez LT, que se examinaron mediante análisis de contenido (Bardin, 1996). Los criterios para elegirlos fueron: disponibilidad para las autoras, edición lo más actualizada posible, no repetición de autores, uso por docentes y estudiantes en materias de física de diversas carreras de una universidad estatal de Argentina. El código fijado (CO) y los datos de cada LT, ordenados alfabéticamente según el apellido del primer autor, se exhiben en la Tabla I.

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

CO	Libros de texto
A	Alonso, E. y Finn, E. (1976). <i>Física. Vol. I. Mecánica</i> . Barcelona, España: Fondo Educativo Interamericano 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. Volumen I. (4ta ed.)</i> . México: Pearson Educación.
D	Hewitt, P. (2016). <i>Física Conceptual. (12va ed.)</i> . México: Pearson Educación.
E	Resnick, R., Halliday, D. y Krane, K. (2011). <i>Física. Vol 1. (5ta ed.)</i> . México: Grupo Editorial Patria.

<b>F</b>	Serway, R. y Jewett, J. (2009). <i>Física para ciencia e ingeniería. Vol. 1. (7ma ed.)</i> . México: Cengage Learning Ed. S.A.
<b>G</b>	Tipler, P. y Mosca, G. (2020). <i>Física para la Ciencia y la Tecnología. Tomo 1. (6ta ed.)</i> . España: Reverté S.A.
<b>H</b>	Tippens, P. (2011). <i>Física, conceptos y aplicaciones. (7ma ed.)</i> . Perú: McGraw Hill.
<b>I</b>	Wilson, J., Buffa, A. y Lou, B. (2007). <i>Física. (6ta ed.)</i> . México: Pearson Educación
<b>J</b>	Young, H. y Freedman, R. (2009). <i>Física universitaria Vol. 1. (12va ed.)</i> . México: Pearson Educación.

La revisión se hizo sobre los capítulos de mecánica que abordan trabajo y energía de partículas y de sistemas de partículas. Las etapas implementadas en el análisis de contenido son pre-análisis, exploración, tratamiento de resultados e interpretaciones. Los datos compilados se organizaron usando palabras clave y tablas, lo que permitió una identificación rápida de los ejemplares y las páginas de donde se extrajeron los datos. La exploración sistemática y relectura permitieron reconocer regularidades, que conjuntamente con los referentes citados, ayudaron a definir las siguientes variables: V1. *Concepto de energía (1. Explicitación del carácter sistémico de la energía, 2. Explicitación del sistema en la discusión)*, V2. *Concepto de trabajo (1. Identificación del agente que hace trabajo, 2 Determinación del sistema sobre el que se realiza trabajo)*, V3. *Teorema del trabajo y energía cinética (Explicitación del sistema involucrado en el teorema de trabajo y energía cinética)* y V4. *Conservación de la energía (Explicitación del sistema sobre el que se aplica la conservación de la energía)*. La presentación se ha organizado en grupos atendiendo al eje central de la discusión.

#### IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

La Tabla II muestra los resultados hallados para las variables consideradas en el análisis. Con una X se indica la presencia de las mismas en el análisis de los LT, el espacio vacío corresponde a su ausencia en el ejemplar.

**TABLA II.** Variables de análisis consideradas en la inspección de los ejemplares

Tema principal del capítulo/sección	Variables de análisis	Libros de texto										Tot
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	
V1. Concepto de energía	V1.1 Explicitación del carácter sistémico de la energía			x		x	x	x	x		x	6
	V1.2 Explicitación del sistema en la discusión					x	x	x				3
V2. Concepto de trabajo	V2.1 Identificación del agente que hace trabajo	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	10
	V2.2 Determinación del sistema sobre el que se realiza trabajo	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	10
V3. Teorema de trabajo y energía cinética	V3. Explicitación del sistema involucrado en el teorema			x			x	x				3
V4. Conservación de la energía	V4. Explicitación del sistema sobre el que se aplica la conservación de la energía			x		x	x	x		x	x	6

##### A. Acerca de la explicitación del carácter sistémico de la energía y de la explicitación del sistema de interés

En la mayoría de los libros de texto inspeccionados (C, E, F, G, H, J) pueden leerse frases que especifican que la energía es una magnitud compartida por los elementos de un sistema, pero solamente en relación a la energía potencial. No se hallaron referencias al carácter sistémico de la energía cinética. Frases como las que se citan a continuación son comunes en algunos de los ejemplares. En ellas, los autores no explicitan el carácter sistémico de la energía en general y en particular de las energías potenciales gravitatoria y elástica: “Cuando un objeto de masa  $m$  se mueve de un punto, con coordenada vertical  $y_i$ , a un punto con coordenada vertical  $y_f$ , el cambio en la energía potencial gravitatoria es  $U_f - U_i = mgy_f - mgy_i$ ” (Gettys, Keller y Skove, 2005, p. 191); “la energía potencial asociada con esta fuerza se denomina energía potencial elástica del resorte” (Gettys et al., 2005, p. 192); “la cantidad de energía potencial gravitacional que posee un objeto elevado es igual al trabajo realizado para elevarlo en contra de la

*gravedad*” (Hewitt, 2016, p. 113); “[...] un objeto esté o no en movimiento, podría tener otra forma de energía: energía potencial [...] Dado que se efectúa trabajo, hay un cambio en la energía potencial del resorte ( $\Delta U$ )[...]” (Wilson, Buffa y Lou, 2007, p. 152). Afirmaciones de este tenor refuerzan la concepción de que la energía potencial gravitatoria es del cuerpo y no del sistema que éste comparte con la Tierra y que la energía potencial elástica es del resorte y no del sistema que éste comparte con el bloque.

En contrapartida, en los demás ejemplares, se destaca el carácter sistémico de la energía potencial:

*La energía potencial pertenece a un sistema y no sólo a un objeto. La energía potencial está asociada con una fuerza, y una fuerza sobre un objeto es siempre ejercida por algún otro objeto. Así, la energía potencial es una propiedad del sistema en su conjunto. Para un objeto elevado a una altura y sobre la superficie terrestre, el cambio en la energía potencial gravitacional es  $mgy$ . Aquí el sistema es el objeto más la Tierra, y las propiedades de ambos están relacionadas: objeto ( $m$ ) y Tierra ( $g$ ). En general, un sistema es uno o más objetos que elegimos estudiar. La elección de lo que conforma el sistema es siempre nuestra, y a menudo intentamos elegir un sistema sencillo. Más adelante, cuando tratemos con la energía potencial de un objeto en contacto con un resorte, nuestro sistema será el objeto y el resorte.* (Giancoli, 2009, p. 187)

*CUIDADO ¿A qué cuerpo “pertenece” la energía potencial gravitacional? No es correcto llamar a  $U_{grav}=mgy$  la “energía potencial gravitacional del cuerpo”, ya que la energía potencial gravitacional  $U_{grav}$  es una propiedad compartida del cuerpo y la Tierra. El valor de  $U_{grav}$  aumenta si la Tierra permanece fija y la altura aumenta; también aumenta si el cuerpo está fijo en el espacio y la Tierra se aleja de él. Observe que en la fórmula  $U_{grav}=mgy$  intervienen características tanto del cuerpo (su masa  $m$ ) como de la Tierra (el valor de  $g$ ).* (Young y Freedman, 2009, p. 215)

*Procedemos igual que con la energía potencial gravitacional. Comenzamos con el trabajo realizado por la fuerza elástica (del resorte) y lo combinamos con el teorema trabajo-energía. La diferencia es que la energía potencial gravitacional es una propiedad compartida de un cuerpo y la Tierra; no obstante, la energía potencial elástica sólo se almacena en el resorte (u otro cuerpo deformable).* (Young y Freedman, 2009, p. 223)

De la última de las citas se infiere: los autores van a obtener la conservación de la energía mecánica a partir de añadir términos al teorema de trabajo-energía cinética de manera que se contemple mayor cantidad de situaciones y, el carácter sistémico lo atribuyen sólo a la energía potencial gravitacional. Hablar de energías potenciales sólo tiene sentido en la medida en que el sistema no esté conformado por un solo objeto (Jewett, 2008; Sefton, 2004). Sin la presencia de otro elemento que interactúe con el resorte o algún agente externo que realice trabajo sobre él, éste permanecerá en su posición de equilibrio y no tendrá la capacidad de realizar trabajo alguno. En E y G los autores argumentan por qué está, en cierto modo justificado, asignar energía potencial a un objeto. Establecen que, con frecuencia, se hacen recortes en las afirmaciones declarativas y es el lector el que debe inferir que el otro elemento constitutivo del sistema permanece implícito. Por ejemplo:

*La energía potencial caracteriza al sistema y no a sus objetos individuales. Para hablar correctamente deberíamos referirnos a la “energía potencial elástica del sistema de bloque-resorte” o a la “energía potencial gravitacional del sistema de bola-Tierra” (no a “la energía potencial elástica del resorte” ni a “la energía potencial gravitacional de la bola”). Sin embargo, se produce el cambio de configuración del sistema de bloque-resorte a causa del estiramiento y compresión del resorte. El bloque, supuestamente rígido, no cambia su forma al moverse. Por tanto, a menudo relacionamos la energía potencial del sistema bloque-resorte sólo al resorte. Asimismo, el cambio de configuración del sistema bola-Tierra se debe principalmente al movimiento de la primera, de ahí que a menudo relacionamos la energía potencial gravitacional de este sistema sólo con la bola. Es verdad que la Tierra retrocede cuando proyectamos la bola hacia arriba, pero por tener mucho mayor masa su desplazamiento es insignificamente pequeño en comparación con el de la bola.* (Resnick, Halliday y Krane, 2011, p. 260)

*La energía potencial se asocia con la configuración de un sistema de partículas, pero a veces en un sistema como el de la botella-Tierra de este ejemplo, sólo se mueve una partícula (el movimiento de la Tierra es despreciable). Para simplificar, muchas veces nos referimos a la energía potencial del sistema botella-Tierra simplemente como la energía potencial de la botella.* (Tipler y Mosca, 2020, p. 158)

En H, la presentación es algo contradictoria. En una sección se afirma explícitamente: “[...] un objeto en sí no puede tener energía potencial; más bien, esta última ha de pertenecer al sistema [...]” (Tippens, 2007, p. 161); y, pese a la afirmación hecha, en otras secciones del libro se utilizan frases descuidadas en las que la energía potencial se presenta como una propiedad que tienen los objetos.

Con respecto a la explicitación del sistema de interés cuando se presenta el tema energía, en A, C y D no se encontraron alusiones al respecto. En B, que también fue incluido en el mismo grupo, sólo se hallaron dos menciones. Se cita sólo la primera: “Por ejemplo, si una caja se desliza sobre una rampa, el sistema contiene la caja, la rampa y la Tierra

(*debido a la gravedad*)” (Gettys *et al.*, 2005, p. 188). En contraste, en E, en reiteradas ocasiones se especifica cuáles son los sistemas sobre los que se discute. En F, todo el desarrollo que realizan los autores está traspasado por la noción de sistemas, advierten al lector que la presentación se realiza desde el enfoque sistémico. Cabe aclarar que este es el único ejemplar analizado que lo explicita. La identificación de los sistemas es una constante en todo el desarrollo, tanto en la parte principal del texto como en los epígrafes de las imágenes que integran la exposición y en los problemas resueltos, a través de los cuales se muestra como la elección del sistema condiciona los tipos de energía presentes en él. En G, se registraron mayor cantidad de referencias a los sistemas en el capítulo destinado a la conservación de la energía, sin embargo, en el desarrollo dispensado al concepto de energía cinética no se identifica el sistema. Se infiere que se debe a que, al iniciar la presentación, el autor afirma que para el análisis se considerará el caso de una partícula, con lo cual el lector debe inferir que el sistema que subyace a la descripción está constituido por ese único elemento. En cambio, al desarrollar el concepto de energía potencial se encontraron varias alusiones. En H se ha encontrado una sola mención al sistema que subyace al desarrollo del concepto de energía potencial. En el resto del capítulo, en varias oportunidades, se utiliza el término, pero sin identificar cuál es el sistema sobre el que se basa la discusión. Debido a este uso poco riguroso, se optó por incluir este libro entre los que no explicitan los sistemas. El ejemplar I ofrece un tratamiento similar, la primera vez en que se hace referencia a un sistema es en la sección en que se aborda la conservación de la energía, sin embargo, allí solamente se lo define. Luego, en el resto del capítulo se utiliza en su acepción general sin particularizar cuáles son los elementos que componen los sistemas subyacentes en la discusión. En J, los autores introducen el concepto de energía cinética analizando el caso de un bloque que sufre diferentes desplazamientos por acción de una fuerza aplicada. El lector debe suponer que el sistema está constituido por un único elemento: el bloque. Cuando se introduce energía potencial puede leerse: “*Parece razonable que, al levantar la roca en el aire, se está almacenando energía en el sistema*” (Young y Freedman, 2009, p. 214). Las citas precedentes revelan que los autores utilizan la palabra sistema, pero sin delimitarlo.

## B. Acerca de la identificación del agente que efectúa el trabajo y del sistema receptor del trabajo

Jewett (2008) señala que es importante evitar declaraciones incompletas y especificar tanto la fuerza que realiza el trabajo como el sistema que recibe dicho trabajo. Estas cuestiones se mencionan en todos los libros inspeccionados. En el libro A, se hace de manera menos explícita que en algunos de los otros ejemplares considerados. La tendencia más comúnmente observada es identificar la fuerza que realiza el trabajo y, en general, dejar al lector la tarea de inferir el objeto/sistema destinatario del mismo. En B y en C también se consideran. En C, además se incluye en una de las llamadas de atención o advertencias que están presentes en los márgenes de toda la obra. Así puede leerse “*CUIDADO. Especifique si el trabajo es efectuado sobre un objeto o por un objeto*” (Giancoli, 2009, p. 165). A lo largo de todo el capítulo, el autor aborda esta faceta e identifica el sistema receptor del trabajo, que generalmente es un objeto extenso que puede considerarse puntual. Análogamente, en D se encontraron frases que sugieren estas cuestiones. Por ejemplo, en la afirmación: “*Cuando un automóvil incrementa su rapidez, su ganancia en energía cinética proviene del trabajo realizado sobre él*” (Hewitt, 2016, p. 115), se hace alusión al receptor del trabajo (el auto) pero sin identificar la fuerza ejecutora del mismo. En el ejemplo que se transcribe a continuación, se mencionan ambos. Cabe aclarar que en una edición más antigua y que fuera objeto de análisis de los trabajos citados en la introducción, no se hallaron frases en que se contemple a la vez al agente que realiza trabajo y al sistema que lo recibe. La definición operacional errónea de trabajo como fuerza multiplicada por distancia aún persiste en la edición más nueva del ejemplar a la que se tuvo acceso recientemente:

*Se observa que la definición de trabajo tiene que ver tanto con una fuerza como con una distancia. Una levantadora de pesas que sostiene sobre su cabeza una barra que pesa 1,000 newtons no realiza trabajo sobre la barra. Se puede cansar mucho de sostener la barra pero, si no la mueve por la fuerza que ejerce, no realiza ningún trabajo sobre la barra.* (Hewitt, 2016, p.111)

En E y en J, en reiteradas oportunidades, los autores, principalmente en problemas resueltos, identifican los aspectos aquí planteados. No se citan los enunciados de los problemas porque no son objeto de estudio de este trabajo. En F, la delimitación de los sistemas sobre los que se efectúa trabajo y la explicitación del agente que lo causa permea todo el material sometido a revisión. En tanto que, en G, estas especificaciones no se dan tan asiduamente como en F, pero sí se las tiene en consideración constantemente en los problemas resueltos. Por ello se ha optado por incluir este libro entre aquellos que especifican ambos aspectos. En H y en I, también se detectaron alusiones, aunque menos explícitas que lo sugerido en Jewett (2008), a estos aspectos. Por ejemplo: “*Por lo común especificamos qué fuerza efectúa trabajo sobre qué objeto. Por ejemplo, la fuerza de gravedad efectúa trabajo sobre un objeto que cae, como el libro del ejemplo 5.1. [...]*” (Wilson *et al.*, 2007, p. 144). Análogamente, en J, en un recuadro que complementa al texto principal, a través de una advertencia al lector, se aclara, que el trabajo es realizado por la fuerza gravitacional, y el

receptor es un libro que se está moviendo. La misma impronta se observa en otras afirmaciones y que, por razones de espacio, no se citan.

### C. Acerca de la explicitación del sistema involucrado en el teorema de trabajo y energía cinética

Esta cuestión no se aborda de manera explícita en la mayoría de los libros (A, B, C, D, E, H, I, J). En A se lo aplica en algunos problemas resueltos sin hacer alusión al sistema, dado que, tal como ya se mencionó en la sección anterior, los autores al iniciar el capítulo establecieron que los conceptos se desarrollan suponiendo que el objeto es o puede ser considerado como partícula. Por tanto, el lector debe inferir que todos los sistemas involucrados corresponden a sistemas constituidos por una única partícula. En J, la situación es similar. Los autores no afirman explícitamente cuál es el sistema considerado, esto debe ser inferido por el lector. Por lo general, se trata de un solo objeto que implícitamente es considerado como partícula.

En B no se hallaron situaciones en las que los autores expliciten cuál es el sistema sobre el que se aplica el teorema de trabajo y energía cinética. Algo similar ha sido detectado en D, en H y en I. Por otra parte, la primera mención al sistema en discusión se presenta en C cuando se utiliza el teorema de trabajo y energía cinética, en la resolución de un problema que pide determinar el trabajo realizado sobre un auto para aumentar su energía cinética cuando la magnitud de su velocidad varía entre dos valores dados. El autor establece que el automóvil es un sistema complejo, pero que se puede modelizar como una partícula si se ignoran ciertas “complicaciones”. Sin embargo, no en todos los problemas que se abordan en este libro se identifican los sistemas sobre los cuales se basa el análisis. En E, la identificación de los sistemas sobre los cuales se aplica el teorema no es tan evidente como las que se mencionan unas líneas más adelante para F. Es tarea del lector inferir que en los problemas el sistema está conformado por un solo elemento al que implícitamente se modela como partícula. Esto es, los autores no indican expresamente cuál es el sistema. En cambio, en F, la identificación de los sistemas es una tendencia en todos los capítulos inspeccionados, y, en particular cuando se aplica el teorema de trabajo y energía cinética. En este mismo ejemplar se han rastreado alusiones a los sistemas hasta en los cuadros e ilustraciones que acompañan al texto principal. En G, también se encontraron referencias a los sistemas que subyacen a las situaciones que se analizan vía la aplicación del teorema de trabajo energía cinética. Se muestra un ejemplo, que se exhibe en la Figura 1, que muestra tanto la descripción verbal presentada en este ejemplar como la imagen en que ésta se apoya. En dicha figura, puede observarse que se identifica claramente el sistema y además se consideran diferentes elecciones posibles. Cabe aclarar que, en una versión antigua de este libro, sobre el que las autoras de este trabajo realizaron otros estudios, podía observarse que el autor (o tal vez los traductores) confundieron fuerza con trabajo, dado que se afirmaba que el atleta levanta la barra ejerciendo sobre ésta una fuerza  $+mgh$ . Sin embargo, en la imagen que acompañó esta explicación estaba correctamente identificada la fuerza que ejerce el atleta:  $+mg$ . Esta pequeña inconsistencia puso en evidencia que los sistemas lingüístico y simbólico que aparecen alternadamente en los libros, en ocasiones, son discrepantes y que los libros contienen errores (Alexander y Kulicowich, 1994; Campanario, 2006; Slisko, 2005). En la versión actual del libro, a la que se sumó un nuevo autor, el error fue corregido.

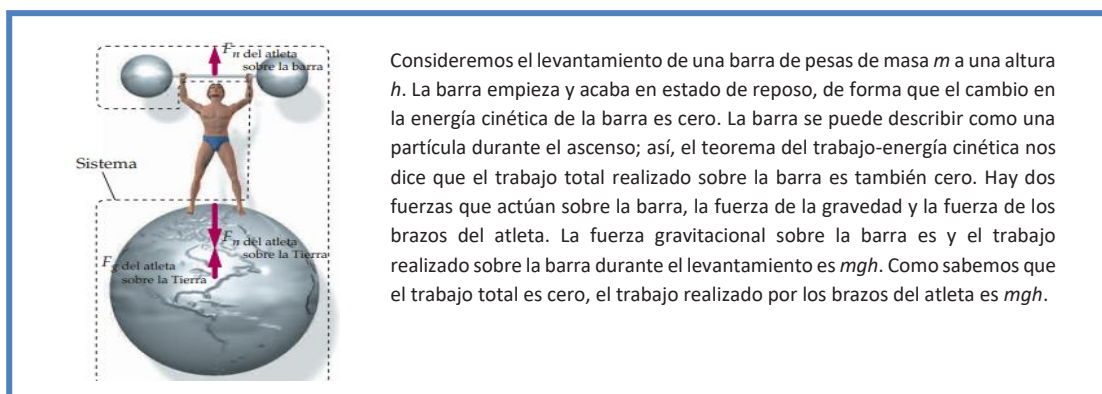


FIGURA 1. Identificación de sistemas para la discusión del teorema de trabajo y energía cinética (Tipler 2020, p. 202).

### D. Acerca de la identificación de los sistemas al aplicar la conservación de la energía

En las secciones de los LT en que se aborda la conservación de la energía es más frecuente la explicitación de los sistemas bajo estudio que en el desarrollo de los tópicos de energía en sí mismos. De hecho, se realiza en seis de los

LT. En C, en la presentación que se realiza acerca de la conservación de la energía mecánica se aclara nuevamente cuáles son los sistemas subyacentes: *“De nuevo, debemos considerar un sistema porque la energía potencial no existe para un objeto aislado. Nuestro sistema podría ser una masa  $m$  que oscila en el extremo de un resorte o se mueve en el campo gravitacional terrestre”* (Giancoli, 2009, p. 189). En B, lo usual es referirse a los sistemas de un modo general. Por ejemplo: *“En todo sistema conservativo existe una relación sencilla entre el trabajo realizado por las fuerzas conservativas y la conservación de la energía”* (Gettys et al., 2005, p. 189) o *“Si todas las fuerzas son conservativas, la energía mecánica del sistema se conserva”* (Gettys et al., 2005, p. 197). Un uso distinto se ha encontrado una sola vez en el enunciado de un problema en el que se indica el sistema a ser considerado. En I, se usa la palabra sistema en su acepción general. Una sola excepción se encontró en la resolución de un problema.

En F, la identificación de los sistemas es una constante en el desarrollo de los conceptos, en la resolución de problemas, en las imágenes que complementan el contenido descriptivo, etc. En todos los problemas resueltos en E los autores identifican cuáles son los sistemas de interés. Sin embargo, en el desarrollo teórico no es tan frecuente. En J, en el contexto de la caída libre de un objeto analizada en términos de la conservación de la energía mecánica, se encontró la primera referencia al sistema de interés: *“Por ‘sistema’ nos referimos al cuerpo de masa  $m$  y la Tierra considerados juntos, porque la energía potencial gravitacional  $U$  es una propiedad compartida de ambos cuerpos”* (Young y Freedman, 2009, p. 215). Al analizar los intercambios energéticos entre un resorte vertical y un bloque que pende de él, vía la conservación de la energía, se resalta la importancia del sistema al especificar: *“El ‘sistema’ se compone del cuerpo de masa  $m$ , la Tierra con la que interactúa a través de la fuerza gravitacional y el resorte de constante de fuerza  $k$ ”* (Young y Freedman, 2009, p. 224).

## V. CONCLUSIONES

Del análisis realizado, se desprenden algunas reflexiones que podrían ser útiles al momento de preparar la instrucción. El carácter sistémico de la energía se aborda en la mayoría de los LT, pero circunscripto únicamente a la energía potencial y no a la energía cinética en particular, a pesar de las recomendaciones realizadas por Sefton (2004) y Doménech et al. (2003).

En las secciones de los libros donde se aborda el concepto de energía se ha detectado que se destina poco espacio a la explicitación de los sistemas subyacentes y a la identificación de las interacciones que éstos tienen con su entorno. Esto podría repercutir en la comprensión por parte de los estudiantes de que el tipo de energía presente en el sistema está condicionado por la elección que se realiza del mismo. En secciones posteriores de los libros, donde se abordan aspectos vinculados al trabajo, los vínculos entre trabajo y energía y la conservación de la energía, esto se realiza con más frecuencia. En algunos casos éstas no aportan información relevante porque se utiliza el término de un modo general sin particularizar cuáles son los sistemas involucrados en la discusión.

En los desarrollos propuestos se identifica el agente que efectúa el trabajo y el sistema receptor del mismo. Se infiere que los autores se hicieron eco de los señalamientos realizados desde la investigación educativa, acerca de cómo la comprensión de los conceptos energéticos está fuertemente condicionada por el lenguaje usado para su presentación (Jewett, 2008). En todos los ejemplares, en algunos con más frecuencia que en otros, se evitan declaraciones incompletas y se especifican la fuerza que hace el trabajo y el sistema que es el destinatario del mismo. En algunos, estas cuestiones no son tan evidentes como en otros (por regla general el sistema es un objeto extenso manejado implícitamente como si fuera una partícula). También, se pudo constatar que los ejemplares que, en este estudio en particular, fueron reemplazados por ediciones más recientes, en su mayoría, se corrigieron inconsistencias detectadas en la revisión llevada adelante en investigaciones previas.

Se considera que los recortes realizados en las declaraciones presentes en los LT y que dejan al lector la tarea de inferir cuáles son los otros elementos constitutivos implícitos en el sistema, conjuntamente con las omisiones detectadas en lo relativo a la identificación de los sistemas involucrados, no contribuirían en el logro de una descripción adecuada de los fenómenos. Se coincide con la comunidad de investigadores en enseñanza de la física en que las simplificaciones presentes en los libros de textos para el desarrollo de los conceptos físicos en general son controvertidas (Giorgi et al., 2014; Giorgi et al., 2017; Marino et al., 2016).

## 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. doi: <https://doi.org/10.1002/tea.3660310906>



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

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.  
doi: <https://doi.org/10.1119/1.2343559>

Campanario, J. (2006). Using textbook errors to teach physics: examples of specific activities. *European Journal of Physics*, 27(4), 975-981. doi: 10.1088/0143-0807/27/4/028

Doménech, J., Gil-Pérez, D., Gras, A., Guisasola, G., Torregrosa, J., Salinas, J., Trumper, R. y Valdés, P. (2003). La enseñanza de la energía: una propuesta de debate para un replanteamiento global. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 20(3), 285-310.

Gay, A. (1995). *Los sistemas y el enfoque sistémico*. Recuperado de [http://manuelugarte.org/modulos/biblioteca/g/texto\\_2\\_aquiles\\_gay.pdf](http://manuelugarte.org/modulos/biblioteca/g/texto_2_aquiles_gay.pdf).

Gettys, E., Keller, F. y Skove, M. (2005). *Física para Ciencias e Ingeniería. Tomo I*. México: McGraw Hill.

Giancoli, D. (2009). *Física para ciencias e ingeniería. Volumen I. (4ta ed.)*. México: Pearson Educación.

Giorgi, S., Cámara, C., Marino, L., y Carreri, R. (2017). La complejidad de las simplificaciones en la enseñanza de la mecánica en el ciclo inicial universitario: el caso del tratamiento de las poleas en libros de texto. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 34(2), 414-434.

Giorgi, S., Cámara, C., Marino, L., Carreri, R., y Bonazzola, M. (2014). Análisis de contenidos de Mecánica en libros de texto utilizados en la enseñanza de la Física en el ciclo inicial de carreras universitarias. *Revista de Enseñanza de la Física*, 26(2), 145-156.

Hernández Sampieri, R., Collado Fernández, C. y Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la investigación. (6ta ed.)*. México: McGRAW-HILL. Interamericana.

Hewitt, P. (2016). *Física Conceptual. (12va ed.)*. México: Pearson Educación.

Jewett Jr, J. W. (2008). Energy and the Confused Student II: Systems. *The Physics Teacher*, 46(2), 81-86.  
doi: 10.1119/1.2834527

Lindsey, B. A., Heron, P. R. y Shaffer, P. S. (2009). Student ability to apply the concepts of work and energy to extended systems. *American Journal of Physics*, 77(11), 999-1009. doi: <https://doi.org/10.1119/1.3183889>

Lindsey, B., Heron, P. y Shaffer, P. (2012). Student understanding of energy: Difficulties related to systems. *American Journal of Physics*, 80(2), 154-163. doi: <https://doi.org/10.1119/1.3660661>

Marino, L., Giorgi, S., Cámara, C., y Carreri, R. (2016). Hipótesis simplificadoras que pueden obstaculizar la comprensión de la Mecánica en el ciclo inicial universitario: el tratamiento de cuerdas inextensibles y de masas despreciables en libros de texto. *Revista de Enseñanza de la Física*, 28, 127-136.

Mejía, L. S., Castro, A. y Meneses, O. (2002). *La mecánica: una propuesta didáctico-alternativa de aprendizaje significativo a partir del concepto de energía: una mirada desde el enfoque de sistemas e interacciones*. [Trabajo de grado de especialización]. Universidad de Antioquía, Medellín, Colombia.

Resnick, R., Halliday, D. y Krane, K. (2011). *Física. Vol 1. (5ta ed.)*. México: Grupo Editorial Patria.

- Sefton, I. (2004). Understanding energy. En *Proceedings of 11th Biennial Science Teachers' Workshop*. University of Sydney.
- Serway, R. y Jewett, J. (2009). *Física para ciencia e ingeniería. Vol. 1. (7ma ed.)*. México: Cenage Learning Ed. S.A.
- Slisko, J. (2005). Errores en los libros de texto de física: ¿cuáles son y por qué persisten tanto tiempo? *Sinéctica*, (27), 13-23.
- Tipler, P. y Mosca, G. (2020). *Física para la Ciencia y la Tecnología. Tomo 1. (6ta ed.)*. España: Reverté S.A.
- Tippens, P. (2011). *Física, conceptos y aplicaciones. (7ma ed.)*. Perú: McGraw Hill.
- Wilson, J., Buffa, A. y Lou, B. (2007). *Física. (6ta ed.)*. México: Pearson Educación
- Young, H. y Freedman, R. (2009). *Física universitaria Vol. 1. (12va ed.)*. México: Pearson Educación.
- Zang, C. y Giacosa, N. (2020). Trabajo: su conceptualización en libros de texto de física universitaria. *Revista de enseñanza de la física*, 32(extra), 355-363.
- Zang, C. y Giacosa, N. (2021). Fuerzas conservativas: su abordaje en libros de texto de física universitaria. *Revista de enseñanza de la física*, 33(extra), 673-680.
- Zang, C. y Giacosa, N. (2022). El tratamiento de la conservación de la energía en libros de texto de física universitaria. *Revista de enseñanza de la física*, 34(2), 19-31.