



Tesis de Maestría

Maestría en Enseñanza de las Ciencias Exactas y Naturales

**Análisis de la presentación de los temas energía,
trabajo y principio de conservación de la energía
en libros de texto de Física universitaria**

Claudia Mariela Zang

Directora: Mgter. Norah Silvana Giacosa

Co-Director: Dr. Ricardo Chrobak

Facultad de Ingeniería

Universidad Nacional del Comahue

(Diciembre de 2019)

RESUMEN

Se muestran resultados de un estudio descriptivo de casos múltiples. Se examinó la presentación de los temas energía, trabajo y principio de conservación de la energía en una muestra intencional de diez libros de texto universitarios de Física empleados frecuentemente en el ciclo básico de carreras científico-tecnológicas que se desarrollan en Argentina. Se empleó la técnica análisis de contenido para investigar la secuencia de exposición, las definiciones, el estatus epistemológico otorgado, los aspectos transversales (analogías, referencias históricas, aplicaciones a la vida cotidiana y relaciones asociadas con Ciencia-Tecnología-Sociedad-Ambiente) y los problemas resueltos a modo de ejemplo, entre otras cuestiones. Los resultados revelan que en una minoría de ejemplares estudiados los contenidos se desarrollan acorde a las recomendaciones realizadas desde la comunidad de investigadores de enseñanza de las ciencias. Algunas inconsistencias entre el sistema lingüístico y el sistema simbólico, la cantidad de cuestiones implícitas como así también las imprecisiones detectadas dificultarían la comprensión de los temas. Los aspectos transversales son escasamente abordados.

PALABRAS CLAVE: libro de texto, Física, Universidad, energía, trabajo, conservación

ABSTRACT

Results from a descriptive multiple-case study are shown. The presentation of the topics energy, work and principle of energy conservation was examined in an intentional sample of ten university textbooks of Physics frequently used in the basic cycle of scientific-technological careers that are developed in Argentina. The content analysis technique was used to investigate the sequence of exposure, the definitions, the epistemological status granted, the transversal aspects (analogies, historical references, applications to daily life and relationships associated with Science-Technology-Society-Environment) and the problems solved by way of example, among other issues. The results reveal that in a minority of copies studied, the contents are developed in accordance with the recommendations made by the community of science teaching researchers. Some inconsistencies between the linguistic system and the symbolic system, the number of implicit issues as well as the inaccuracies detected would make it difficult to understand the topics. Transversal aspects are poorly addressed.

Keywords: textbook, Physics, University, energy, work, conservation.

Dedicada a mi hija
Marianne

AGRADECIMIENTOS:

A mi madre Ema, por su apoyo permanente, por incentivar me a que continúe en este camino.

A mi hija Marianne, que a pesar de ser muy niña, me ha dado siempre su apoyo y comprensión y ha sido paciente con mis ausencias.

A Rubén, por haberme alentado para que siga en este proceso y por ocuparse de nuestra hija con amor y dedicación.

A mi directora Norah, que me ha dado la oportunidad de aprender de ella, me dio su apoyo incondicional y constante, respetando mis tiempos personales.

A mi co director Ricardo, por su apoyo, amabilidad, generosidad y confianza.

A los familiares y amigos que, sin ser docentes, tuvieron que escuchar mis avances e hipótesis provisionales; por su paciencia y compañía.

A las autoridades de la Maestría en Enseñanza de las Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad Nacional del Comahue por permitir capacitarme a distancia y por estar tan atentas a las múltiples inquietudes y consultas realizadas.

A las autoridades y colegas de la Facultad de Ciencias Exactas, Químicas y Naturales dependiente de la Universidad Nacional de Misiones por el apoyo recibido.

INDICE

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN	1
1.1. Justificación de la elección del tema	1
1.2. Pertinencia y valoración	3
1.3. Antecedentes.....	6
1.4. Objetivos.....	7
1.3.1. Objetivo general	7
1.3.2. Objetivos específicos.....	7
1.4. Preguntas orientadoras	8
1.5. Cuestiones metodológicas	9
1.6. Estructura de la tesis	10
CAPÍTULO 2: REVISIÓN DE LA LITERATURA	12
2. 1. Aspectos generales acerca del libro de texto	12
2.2. Los libros de texto en Ciencias como objeto de estudio.....	14
2.3. Generalidades sobre el abordaje de tópicos de Física en libros de texto según lo reportado en revistas de acceso libre	16
2.4. Aportes de la investigación a la enseñanza y el aprendizaje de la energía.....	27
2.4.1. Concepciones alternativas sobre energía.....	27
2.4.2. Aspectos controvertidos en la enseñanza de la energía.....	31
2.4.4. Sugerencias para el abordaje de la energía.....	38
CAPÍTULO 3: MARCO TEÓRICO	44
3.1. Encuadre general.....	44
3.1.1. El aprendizaje a partir de los textos	44
3.1.2. Factores que influyen en la comprensión.....	48
3.1.2.1. Las características del texto.....	49
3.1.2.2. Conocimientos previos del lector y aprendizaje escolar	53
3.2. Encuadre disciplinar	56
CAPÍTULO 4: METODOLOGÍA	63
4.1. Selección de la muestra.....	63
4.2. Los recortes realizados.....	64
4. 3. Descripción de la técnica de análisis de contenido.....	65
4.4. Variables de análisis	66

<i>V1: Lugar en el que se aborda el estudio de la energía y conceptos afines en la secuencia de temas que conforman el libro de texto</i>	67
<i>V2: Aspectos transversales</i>	67
<i>V3: Conceptualización de la energía</i>	69
<i>V4: Conceptualización del trabajo.....</i>	71
<i>V5: Presentación del teorema de trabajo-energía cinética.....</i>	73
<i>V6: Conceptualización de las fuerzas conservativas</i>	73
<i>V7: Conservación de la energía</i>	75

CAPÍTULO 5. ASPECTOS GENERALES SOBRE EL TRATAMIENTO DE LA ENERGÍA Y TEMAS AFINES..... 77

5.1. La secuencia de presentación.....	77
5.2. Aspectos transversales	78
5.2.1. Acerca de la presentación de las ventajas y limitaciones del tratamiento energético respecto del dinámico y cinemático a la hora de estudiar los movimientos.....	79
5.2.2. Acerca de si se resalta la revolución que supuso la integración de la mecánica y la termodinámica, inicialmente consideradas ciencias inconexas.....	86
5.2.3. Acerca de si se contempla el estatus epistemológico de los conceptos que se desarrollan	88
5.2.4. Acerca de la alusión a relaciones Ciencia, Tecnología, Sociedad y Ambiente	94
5.2.5. Acerca de las modalidades de recursos complementarios usados para propiciar la comprensión y/o el interés en los lectores	95
5.2.5.1. Acerca de la utilización de analogías	95
5.2.5.2. Acerca de la inclusión a referencias históricas	98
5.2.5.3. Acerca de las aplicaciones a la vida cotidiana.....	100
5.2.5.4. Acerca de la inclusión de diagramas de barra que muestran la distribución temporal de las energías cinética y potencial de un sistema	105
5.3. Otras cuestiones: Errores e imprecisiones	106

CAPÍTULO 6: TRABAJO Y ENERGÍA DE SISTEMAS DISCRETOS 108

6.1. Conceptualización de la energía	109
6.1.1. Acerca de la definición y de las limitaciones de las definiciones propuestas	109
6.1.2. Acerca de las dificultades para su definición	113
6.1.3. Acerca de las diferentes connotaciones del término	115
6.1.4. Acerca de la aclaración de eventuales confusiones con otros conceptos....	116

6.1.5. Acerca de los tipos de energía que se consideran	117
6.1.5.1. Sobre la energía cinética.....	117
6.1.5.2. Sobre la energía potencial	125
6.1.5.3. Sobre las otras formas de energía que se consideran.....	132
6.1.6. Acerca de la diferenciación entre tipos de energía y fuentes	137
6. 1.7. Acerca de la explicitación del carácter relativo de la energía	138
6. 1.8. Acerca de la explicitación del carácter sistémico de la energía	143
6.1.9. Acerca de la explicitación del sistema en la discusión.....	150
6.2. Conceptualización del trabajo.....	156
6.2.1. Acerca de la definición de trabajo.....	156
6.2.2. Acerca de las diferentes connotaciones del término y de las eventuales concepciones alternativas del lector	162
6.2.3. Acerca de la interpretación del desplazamiento que interviene en la definición operacional de trabajo	165
6.2.4. Acerca de la explicitación de los límites de validez de la definición operacional de trabajo	169
6.2.5. Acerca de la forma de obtener el trabajo neto.....	172
6.2.6. Acerca de la explicitación de los límites de validez de la definición del trabajo neto cuando se lo considera como el trabajo realizado por la fuerza neta	174
6.2.7. Acerca de la consideración de trabajos que no pueden calcularse a través de la definición operacional	177
6.2.8. Acerca de la identificación del agente que efectúa el trabajo y del sistema receptor del trabajo.....	186
CAPÍTULO 7: RELACIONES ENTRE TRABAJO Y ENERGÍA DE SISTEMAS DISCRETOS.....	196
7. 1. Presentación del teorema de trabajo y energía cinética	196
7.1.1. Acerca de la deducción del teorema a partir de la segunda ley de Newton	196
7.1.2. Acerca de la consideración de los límites de validez del teorema	198
7.1.3. Acerca de la explicitación del sistema sobre el que se aplica el teorema ...	204
7.2. Acerca de la conceptualización de las fuerzas conservativas y no conservativas	214
7.1.1. Acerca de la definición de fuerza conservativa.....	214
7.1.2. Acerca de la presentación de ejemplos típicos para fuerzas conservativas y para fuerzas no conservativas.....	219
CAPÍTULO 8: CONSERVACIÓN DE LA ENERGÍA	223
8.1. Acerca de la presentación de la conservación de la energía	223

8.2. Acerca de la forma en que se enuncia la conservación de la energía	237
8.3. Acerca del significado que se atribuye a la conservación.....	240
6.4. Acerca de la identificación de los sistemas al aplicar la conservación de la energía.....	244
8.5 Otras cuestiones	248
8.5.1 Acerca del uso del sistema lingüístico vinculado a la conservación de la energía	248
8.5.2. Acerca de la sobrevaloración de los aspectos operativos de la conservación de la energía	252
CAPÍTULO 9: CONCLUSIONES.....	253
9.1. Derivaciones del análisis realizado.....	253
9.2. Implicancias para la docencia	273
REFERENCIAS	278
ANEXO.....	297

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

1.1. Justificación de la elección del tema

La energía es un tema que reviste de fundamental importancia para las Ciencias en general. Los investigadores resaltan su carácter estructurante y unificador en todas las ramas de la Física (Mecánica, Termodinámica, Electricidad, Ondas, Física Moderna, etc.), paralelamente destacan su potencialidad en el estudio de todo tipo de problemas físicos y de otras disciplinas (como Química, Biología, Geología, etc.), y su utilidad como nexo en las relaciones Ciencia – Tecnología – Sociedad – Ambiente.

Las investigaciones referentes al tema señalan que la comprensión y el aprendizaje de las magnitudes físicas que intervienen en los procesos de intercambios energéticos son problemáticos. La conceptualización de la energía presenta ciertas dificultades, algunas de ellas de origen epistemológico, ligada a la complejidad intrínseca del concepto y otras, tienen su génesis en las deformaciones que se producen en las sucesivas transposiciones didácticas que sufre el concepto (Chevallard, 1991).

La problemática se acentúa porque aun en la comunidad de expertos no existe acuerdo sobre cómo considerar a la energía: existen posiciones encontradas, desde la que afirma que se trata de un "simple objeto matemático" hasta aquella que sostiene que debería considerársela como una cosa real y tangible en lugar de un mero dispositivo de contabilidad. En lo que sí existe un acuerdo generalizado es en que una descripción completa del concepto involucra considerar a la transformación, la conservación, la transferencia y la degradación como aspectos esenciales del mismo (Duit, 1981a; Duit 1984; Solbes y Tarín, 1998; Doménech, *et al*, 2001; Doménech *et al*, 2003; Solbes y Tarín, 2004).

Los estudiantes tienen ideas bien desarrolladas sobre la energía incluso antes de que se la aborde en la escuela. Esta familiaridad, sin embargo, en lugar de ser útil, ha demostrado ser un obstáculo importante para comprender varios aspectos de la energía. El concepto de energía es abstracto, por lo que, sumado al uso cotidiano del término, resulta difícil de comprender y de utilizar funcionalmente para la mayoría de los alumnos, como lo muestra la experiencia diaria en el aula.

Surge otra fuente importante de confusión para los estudiantes si la presentación no es cuidadosamente elaborada por el instructor o el libro de texto (Jewett, 2008a). Los enfoques tradicionales para el estudio de los intercambios energéticos 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. Este tipo de expansiones del teorema básico de trabajo-energía cinética resulta confuso para los estudiantes (Jewett, 2008d). Además, en este tipo de enfoque puede reconocerse un error metodológico tal como lo señalan Solbes y Tarín (1998), quienes argumentan que muchos profesores e incluso algunos autores de libros de texto 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 este enfoque es adecuado en la mayoría de las situaciones que se presentan en los cursos de Mecánica, falla en otras ramas de la Física. A esto agrega Jewett (2008d) que, incluso en el seno de la Mecánica, un enfoque de estas características es insuficiente para explicar situaciones que involucran objetos deformables y/o que giran. Lo cual se traduce en que, a menudo, este tipo de problemas se eviten en el aula o en los libros de texto, ya que ofrecen complicaciones que no pueden ser manejadas con un enfoque tradicional del teorema de trabajo-energía cinética.

Por otra parte, varias investigaciones mostraron que el material de lectura condiciona fuertemente el aprendizaje y que no siempre las explicaciones presentes en los libros de texto son suficientemente claras para facilitar la construcción de conocimientos (de Pro Bueno, 2003). En este mismo sentido, los libros de texto de Física son catalogados por algunos investigadores como “bilingües” (Alexander y Kulicowich, 1994). Utilizan alternativamente dos sistemas, lingüístico y simbólico, entre los cuales el lector debe desplazarse o realizar una “traducción” para lograr una adecuada comprensión lectora. El sistema lingüístico lo conforman las expresiones verbales que describen los fenómenos físicos, en tanto que el sistema simbólico está constituido por las representaciones tales como ecuaciones, gráficos, esquemas y diagramas. Sumado a ello, se tiene que en algunos libros de texto se presentan interpretaciones no formales o erróneas de los fenómenos físicos (Michinel y D’Alesandro, 1993).

Aunque son múltiples los factores que pueden estar vinculados a las dificultades observadas en los estudiantes para 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 libros de texto que utilizan habitualmente. Estos aspectos invitan a pensar en ¿cuáles son las características de los libros de texto de física utilizados en Mecánica que favorecerían u obstaculizarían el aprendizaje del trabajo, de la energía y del principio de conservación de la energía?

1.2. Pertinencia y valoración

El libro de texto en Ciencias desempeña un rol determinante en la transmisión de conocimientos (Bachelard, 1965). La necesidad e importancia de estudios relacionados con el libro de texto se reconoció clara y explícitamente, en Brasil, a través de la recomendación de la asamblea final del XI Simposio Nacional de Ensino de Física:

“Teniendo en vista que gran parte de los libros de texto de Física presentan errores conceptuales y distorsiones pedagógicas diversas y que un número elevado de profesores define sus currículos con base en estos textos, se recomienda a la Sociedade Brasileira de Física (SBF), [...] que promueva un estudio analítico de los libros didácticos ya publicados y de los que fueran surgiendo en el mercado, procurando divulgar esos análisis entre los profesores...” (Sociedade Brasileira de Física, 1995, p. 102).

Más recientemente, en la República Argentina, en el Informe Final realizado por la Comisión Nacional para el Mejoramiento de la Enseñanza de Ciencias Naturales y la Matemática, puede leerse: “Se recomienda que las autoridades educativas generen iniciativas que aseguren la calidad de los libros de texto existentes en el mercado” (MCyE, 2007, p. 7). Entre las acciones para lograrlo; se propone crear un comité de análisis de libros de texto, elaborarlos teniendo en cuenta esos resultados y; difundir y promover su uso en el nivel primario, secundario y superior. En la actualidad, según Fernández y Caballero (2017), existen ámbitos específicos de estudio, investigación y circulación de saberes como son los centros de investigación en varios países: la Asociación Internacional para la Investigación de los Libros de Texto y los Medios de Comunicación Educativos (IARTEM), Oslo (Noruega); el Instituto George Eckert para la Investigación Internacional de Textos Escolares, Braunschweig (Alemania); el Instituto de Investigación de Libro de Texto, Viena (Austria); el Instituto para la investigación del Texto Educativo, Härnösand (Suecia); el Centro de Investigaciones del Libro de Texto, Tokio (Japón) y el Centro de Investigación Manes (Manuales Escolares), Madrid (España).

En este sentido, se destaca que la preocupación por la influencia del libro de texto en los procesos de instrucción se ha instalado, en particular, en la comunidad de investigadores en Enseñanza de la Física de la República Argentina. Esto se ve reflejado

en que en los últimos Simposios de Investigación en Enseñanza de la Física (SIEF) y en las últimas Reuniones Nacionales de Educación en Física (REF) que organiza la Asociación de Profesores de Física de Argentina, se presentaron reportes de investigación, realizados con diferentes propósitos y desde diversas perspectivas, cuyo protagonista es el libro de texto universitario.

Los libros de texto universitarios de Física no sólo son comúnmente adoptados en diversos cursos de carreras científico-tecnológicas, entre ellas ingenierías y licenciaturas, sino que sirven también de fuente de referencia para docentes y autores de libros para la Educación Secundaria. Además, los dispositivos curriculares de diferentes jurisdicciones los citan como bibliografía de consulta. Por ejemplo, los libros de Alonso y Finn, y los de Serway y Jewett, aparecen citados en el dispositivo curricular de la provincia de Misiones. Así, los tratamientos inadecuados de los diferentes tópicos, los errores y las imprecisiones, presentes en esas obras aparecen reproducidos, con citación explícita o no de la fuente, en libros destinados al nivel medio. Esto repercute, indirectamente, en la responsabilidad que recae sobre los textos adoptados en los cursos superiores. Abd-El-Khalick y colaboradores (2017) sostienen que la industria editorial estadounidense, fundamentalmente la dedicada a la comercialización de libros de texto de física, química y biología, tiene un gran impacto en la calidad de la educación científica no sólo de los estudiantes de Estados Unidos sino también de estudiantes de otros países. Por ello sugieren, tal como propone la Asociación Americana para el Avance de la Ciencia, promover el análisis exhaustivo de los libros de texto y enviar las recomendaciones directamente a los autores en lugar de las editoriales, las cuales a juicio de los investigadores citados, son corporaciones prácticamente impenetrables.

Indagar acerca de la energía, el trabajo y el principio de conservación de la energía es pertinente con los propósitos del posgrado en el marco de la Maestría en

Enseñanza de las Ciencias. Asimismo, el problema que se pretende abordar es real e importante para el desempeño docente de la responsable del presente proyecto, quien enseña habitualmente dicho contenido en el nivel universitario. Es posible abordarlo dado que se tiene acceso a los elementos que constituyen el objeto de estudio.

Por otra parte, una lectura crítica de las presentaciones que los libros de texto hacen de los diferentes temas permite a los docentes identificar los sustentos teóricos en que se encuadran los autores, las restricciones y dificultades de cada propuesta y las derivaciones conceptuales que puede acarrear la adopción de una determinada bibliografía. Se considera que, dado que la mayoría de los docentes por diversas razones, no tendrá oportunidad de elaborar sus propios materiales textuales, analizar los libros de texto usados habitualmente es importante para la identificación de falencias e imprecisiones presentes en los mismos, para advertir a los estudiantes y contribuir a la superación de eventuales interpretaciones no formales. Además, el conocer más acerca del abordaje de temas medulares de Física que se realiza en los libros de texto proporcionaría criterios fundamentados para su selección y adopción.

1.3. Antecedentes

En los últimos años, en la Facultad de Ciencias Exactas, Químicas y Naturales, dependiente de la Universidad Nacional de Misiones (UNaM), se conformó un grupo de investigación, del que forma parte la autora de esta tesis, y cuya tarea se desarrolló en el marco de dos proyectos focalizados en el análisis del tratamiento de diferentes tópicos en libros de texto de física. Uno de tales proyectos, ya finalizado, se denominó “Análisis del tratamiento de contenidos de Física presentes en libros de texto universitarios de uso frecuente en las carreras de grado que ofrece la Universidad Nacional de Misiones”. El otro, aún vigente, se denomina “La presentación de contenidos de mecánica clásica,

electromagnetismo y óptica en libros de texto universitarios de uso frecuente en Argentina”. Los resultados más significativos, en relación a estos proyectos y que son pertinentes a esta tesis, tienen que ver con la caracterización del tratamiento dado a distintos temas de electricidad y magnetismo, como por ejemplo circuitos de corriente continua resistivo inductivo (RL) y resistivo capacitivo (RC), circuitos de corriente alterna y oscilaciones electromagnéticas libres. También, se han estudiado la presentación de temas de óptica geométrica (modelo de rayo paraxial) y de óptica física (experiencia de la doble rendija de Young). Paralelamente se han investigado las estrategias a las que recurren los autores en libros de texto para la enseñanza de Electromagnetismo en el nivel universitario básico: se han hallado errores conceptuales y gráficos incorrectos, y profusión de ejercicios con escasos procedimientos de formulación de hipótesis y análisis crítico en los ejemplos resueltos en los textos.

1.4. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Analizar la presentación de la energía, del trabajo y del principio de conservación de la energía en libros de texto usados habitualmente en carreras científico-tecnológicas que ofrece la UNaM, para la enseñanza de Mecánica.

1.3.2. Objetivos específicos

1.3.2.1. Describir y analizar qué conceptualizaciones de energía y trabajo se presentan.

1.3.2.2. Describir la importancia dada a la identificación de los sistemas en el estudio de las situaciones que involucran conceptos energéticos.

1.3.2.3. Analizar si en el desarrollo teórico de los temas a estudiar se presentan traducciones entre el sistema simbólico y el sistema lingüístico.

1.3.2.4. Describir y determinar si las representaciones mediante figuras y gráficos son explicados y están relacionados con el resto de la información proporcionada en el texto escrito.

1.3.2.5. Identificar y describir si se presentan cuestiones relacionadas con Ciencia, Tecnología, Sociedad y Ambiente que aluden al papel de la ciencia y de la técnica en la modificación del medio natural, y los problemas y/o beneficios que ello conlleva.

1.3.2.6. Investigar si se presentan los problemas que condujeron a la introducción del concepto de energía y del cuerpo de conocimientos asociado.

1.3.2.7. Averiguar si se explicita la relevancia del concepto de energía destacando las potencialidades del enfoque energético en la explicación de diferentes fenómenos.

1.3.2.8. Analizar si la conservación de la energía se presenta como una generalización del teorema de trabajo-energía cinética o como una ley general e independiente que se acepta por su concordancia con los datos experimentales.

1.4. Preguntas orientadoras

Algunas de las preguntas relacionadas con los objetivos presentados y que orientarán el estudio son: ¿Cómo se definen los conceptos de trabajo, calor y energía? ¿Existen concepciones espontáneas o no formales en las definiciones de cada concepto? ¿Qué deficiencias se presentan en cada una de las definiciones de acuerdo con los resultados

de la investigación educativa con que se cuenta hasta el momento? ¿Son suficientes las traducciones de los sistemas simbólicos a los lingüísticos en cada uno de los temas de interés? ¿Las figuras, tablas y gráficos son aclaratorias de los desarrollos teóricos presentados? ¿Se hace referencia a situaciones reales que se pueden explicar a través de los conceptos y relaciones presentadas? ¿Qué cuestiones relacionadas con Ciencia, Tecnología, Sociedad y Ambiente es posible identificar en los libros de texto? ¿Se hace referencia explícita al estatus epistemológico de los conceptos que se desarrollan? ¿El principio de conservación de la energía se presenta en los libros de texto como un principio general, como una generalización de casos particulares o como un teorema derivado de las leyes de Newton? ¿Se explicitan los límites de validez de las ecuaciones matemáticas mediante las cuales se presenta el principio de conservación de la energía?

1.5. Cuestiones metodológicas

La metodología empleada corresponde a un estudio descriptivo de casos múltiples, utilizando una muestra intencional de libros de texto estudiados empleando técnicas de análisis de contenido (Ander-Egg, 2010; Bardin, 1996). La información obtenida durante el pre-análisis se procesó mediante palabras claves y tablas que posibilitaron identificar con facilidad el ejemplar y la página del mismo de donde fueron extraídas. Para la selección de la muestra se tuvo en cuenta que los libros de textos respondan a los siguientes requerimientos: estar disponible en la Biblioteca de la Facultad de Ciencias Exactas, Químicas y Naturales dependiente de la Universidad Nacional de Misiones; estar citado en la bibliografía recomendada en los Programas Analíticos de asignaturas - que con diferentes nombres, corresponden al área de Física que se enseña en las distintas carreras de la mencionada institución-; el autor no se repita y su edición sea lo más actual posible. Mayores detalles se desarrollan en el Capítulo 4.

1.6. Estructura de la tesis

En el presente Capítulo 1 se han explicado las motivaciones personales de la autora de este trabajo, las razones de la importancia del tema tanto en lo personal como en lo institucional, los antecedentes de otras investigaciones universitarias relacionadas con el análisis de libros de texto, los propósitos pretendidos y las decisiones metodológicas adoptadas.

En el Capítulo 2, reservado a la Revisión de la literatura, se presenta una descripción sobre las cuestiones que han sido investigadas desde dos grandes dimensiones: una general sobre los estudios que describen el rol del libro de texto como recurso de gran impacto en los procesos de enseñanza y aprendizaje, y otra más específica, que abarca a todos aquellos estudios que se focalizan en el análisis de contenidos científicos en los libros de texto y, en particular, en las cuestiones vinculadas a la energía y su conservación.

En el Capítulo 3, titulado Marco teórico, se desarrollan nociones básicas relacionadas a la problemática en cuestión desde dos dimensiones:

- Pedagógica o general: describe aportes vinculados a la comprensión lectora y a las características que se esperan de un libro para facilitar el aprendizaje a partir de la lectura.
- Disciplinar o específica: ofrece los lineamientos teóricos necesarios para la comprensión de la energía, el trabajo y la conservación de la energía como conceptos centrales de la Física.

En el Capítulo 4, destinado a la Metodología, se fundamenta la opción metodológica adoptada, se describen los atributos utilizados para seleccionar la muestra de libros y los recortes realizados, se detallan las opciones particulares para cada una de las

dimensiones de análisis consideradas, como así también los instrumentos y las técnicas empleadas para procesar la información recogida a través de ellas.

Dada la gran cantidad de resultados obtenidos en esta investigación, se ha dividido la presentación de los mismos en tres capítulos. El Capítulo 5 recolecta cuestiones generales que atañen a la secuenciación de los contenidos en los libros de texto, y a cuestiones transversales que permiten exponer a la ciencia como una forma de investigar y pensar, a la inclusión de cuestiones vinculadas a la naturaleza de la ciencia entre otros aspectos. El Capítulo 6 presenta una descripción de cómo se conceptualiza la energía y el trabajo en aquellos capítulos de los libros que se focalizan en el estudio de estos conceptos para partículas y sistemas de partículas. El Capítulo 7 aborda las relaciones entre estos conceptos, principalmente para caracterizar el tratamiento dispensado al teorema de trabajo-energía cinética, las relaciones entre energías potenciales y el trabajo de las fuerzas conservativas. La conservación de la energía mecánica y su consecuente generalización como la ley de conservación de la energía es el objeto del Capítulo 8. Y el Capítulo 9, muestra las conclusiones de la investigación realizada.

CAPÍTULO 2: REVISIÓN DE LA LITERATURA

Se presenta una descripción sobre las cuestiones que han sido analizadas desde la investigación a lo largo de los años desde las distintas aristas que la temática posee. Esto se abordará desde dos grandes dimensiones: una general sobre los estudios que describen el rol del libro de texto como recurso de gran impacto en los procesos de enseñanza y aprendizaje, y otra más específica, que abarca a todos aquellos estudios que se focalizan en el análisis de contenidos científicos en los libros de texto y, en particular, en las cuestiones vinculadas a la energía y su conservación.

2. 1. Aspectos generales acerca del libro de texto

Los libros de texto han sido objeto de investigación desde diversas perspectivas. Se los considera 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). Son instrumentos mediadores que traducen y concretan los significados incluidos en el currículum oficial, a través de una presentación didáctica (Gimeno y Pérez, 2005, Martínez Bonafé, 2002). Contienen una dimensión ideológica, que se manifiesta a través de la concepción del mundo y de los valores que ofrecen.

Sin embargo, como la mayor parte de ellos son elaborados por empresas editoriales, no están exentos de intereses comerciales. Estas empresas procuran producir libros de texto que resulten fáciles de usar en diferentes instituciones educativas, de manera de abarcar así la mayor cantidad de posibles compradores, asegurándose de este modo la viabilidad económica (del Carmen y Jiménez, 1997). Además, no se definen como elementos comerciales en función de sus verdaderos lectores, sino de los maestros

o profesores, quienes serán el medio a través de los cuales el libro se venderá o no (Apple, 1989). Por otra parte, las editoriales ofrecen diferentes libros de texto para una misma disciplina, que en apariencia brinda al profesorado una gama de posibilidades de elección. No obstante esa diversidad se ve poco reflejada en el tratamiento que se da a temas comunes dado que casi la totalidad de los temas se enseñan prácticamente de la misma manera en la mayoría de los libros de texto (Martínez Bonafé, 2008).

Por otra parte, numerosos estudios advierten que la elección del libro de texto constituye una de las decisiones curriculares más importantes que toman los docentes, dado que estos recursos ejercen una influencia importante en el aprendizaje porque orientan y direccionan muchas actividades que conforman las propuestas áulicas, en tanto los alumnos los usan como material de estudio (Campanario y Otero, 2000a, Maturano y Mazzitelli, 2018a).

La influencia del libro de texto en la elección y secuenciación de los contenidos incluidos en el currículum oficial fue señalada por varias investigaciones; se mostró que el listado de temas presentes en Programas Analíticos de varias asignaturas del área de Física universitaria en la República Argentina responde al índice de un texto (Gattoni y Gangoso, 1995) o existe un notable paralelismo entre ellos (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).

Las primeras investigaciones que analizaron los libros de texto de Ciencia desde el punto de vista psicológico-didáctico, según Portolés y Moreno (2008), se remontan a la década de los 70'. Estos investigadores sostienen que los libros de texto son necesarios, aunque no suficientes, para producir un apropiado aprendizaje de las ciencias a partir de su lectura. Enfatizan que el aprendizaje que se produce en el proceso de lectura depende tanto de la naturaleza del texto (características o variables textuales),

como del conocimiento previo y las estrategias del sujeto lector. Consideran una serie de lineamientos que se deberían tener en cuenta a fin de optimizar la comprensión a partir de la lectura de materiales textuales.

2.2. Los libros de texto en Ciencias como objeto de estudio

Este apartado inicia con una exposición relativamente detallada de las conclusiones de Occelli y Valeiras (2013), quienes realizaron una revisión sobre las publicaciones referidas a diferentes aspectos relacionados con los libros de texto de ciencias. Se considera que dicho trabajo es útil para contribuir con la delimitación del estado del arte del tema, dado que se trata de una revisión relativamente reciente que organiza la gran dispersión existente en cuanto a líneas de investigación y la sistematiza en cuatro categorías: *artículos centrados en el contenido científico*, *artículos centrados en el contenido didáctico*, *artículos de validaciones metodológicas* y *artículos de revisiones teóricas* (interesa en esta sección presentar una descripción de las dos primeras). Además la muestra de revistas seleccionada por las investigadoras cubre las más reconocidas del ámbito de la enseñanza de las Ciencias.

En lo referido al estudio del contenido científico, la atención se dirige hacia: la calidad del mismo, la presencia de errores conceptuales, la terminología usada y la contextualización de la información que se expone. Estos trabajos remarcan que los libros de texto poseen inexactitudes o errores conceptuales, incluyen mucha terminología científica específica con insuficientes explicaciones de las ideas centrales que permiten comprender los fenómenos expuestos. En general, los modelos se presentan descontextualizados y con la inclusión de pocas argumentaciones. Este tratamiento tiene dos consecuencias: por un lado llevará al lector a tener que inferir la relación que hay entre la realidad y la propuesta del modelo, y por el otro posiciona al

libro como autoridad suficiente y acabada. Bajo los mismos lineamientos, hay trabajos que alertan sobre la poca presencia de temas transversales ligados con las relaciones entre Ciencia, Tecnología, Sociedad y Ambiente en los libros de texto.

Con respecto a la naturaleza del conocimiento científico y sus formas discursivas, los estudios advierten que a pesar de incluirse analogías en los libros de texto, generalmente se lo hace de manera secundaria en los márgenes y no se explicitan las correspondencias y limitaciones que facilitarían la comprensión. Asimismo, las argumentaciones utilizadas para presentar el contenido aluden mayoritariamente a hechos acabados sin posibilidades de discusión o utilizando fundamentaciones sencillas. En lo que respecta a la “imagen de ciencia”, se la presenta, generalmente, como una acumulación de conocimientos, sin desarrollar los conflictos que produjeron los cambios de conceptos o modelos, ni el contexto histórico y social del que forman parte las teorías científicas. El método experimental emerge como la única vía para elaborar conocimiento válido. Está escasamente incluido el papel de la mujer en el desarrollo de los conocimientos científicos. Se promueve la percepción de la actividad científica como una empresa individual. En síntesis, la ciencia es entendida de manera positivista, como neutra e independiente de las personas que la construyen.

Otro eje de análisis lo constituyen los artículos que analizaron las actividades que se desarrollan en los libros de textos. Los autores de tales artículos manifiestan que los problemas se plantean a través del lenguaje formal omitiendo el trabajo con las concepciones alternativas o demandan ciertos prerrequisitos conceptuales no siempre disponibles en los estudiantes que consultan los libros de texto. Observaron además, desconexión entre las actividades que se proponen trabajar y los contenidos de la unidad, o entre éstas y los contenidos de otras unidades. Asimismo, las estrategias de resolución que se presentan tanto para las actividades de lápiz y papel como para las

actividades experimentales son muy pautadas, cerradas o de solución inmediata. En general, la resolución de problemas se orienta a la repetición de las ideas del libro de texto y a la aplicación de la teoría. Y, siguiendo con los artículos de este grupo, las investigadoras señalan que hay estudios sobre el tratamiento didáctico de las imágenes que indican que la cantidad de éstas presentes en los textos se ha incrementado en los últimos años. Pero esto no necesariamente redundará en una mejora de la calidad del texto, ya que a veces las imágenes operan como elementos distractores o tienen una función meramente decorativa.

2.3. Generalidades sobre el abordaje de tópicos de Física en libros de texto según lo reportado en revistas de acceso libre

A continuación se presenta una descripción de las investigaciones que se focalizan en el tratamiento dado en los libros de texto a los contenidos de Física en general, según se reporta en artículos publicados en revistas abiertas especializadas, en el período comprendido entre 2007 y 2018. Las revistas consultadas son:

- Revista Enseñanza de la Ciencias.
- Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias.
- Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias.
- Caderno Brasileiro de Ensino de Física.
- Revista Ciencia y Educación (Baurú).
- Latin American Journal of Physics Education (LaJPE).
- Revista de Enseñanza de la Física.
- Revista Electrónica de Investigación en Educación en Ciencias.

Se recopilaron un total de 127 artículos que cubren investigaciones del área de Física, Química y Biología. Las tablas 1 y 2 que exhiben información sintetizada sobre

los mismos se encuentran en el Anexo. Éstos fueron procesados y clasificados según la temática a la que atañen. En la revista LaJPE, pueden consultarse mayores detalles en un artículo recientemente publicado fruto de dicho proceso (Zang, Giacosa y Chrobak, 2019). De esta revisión se desprende que en dicho período se publicaron menos trabajos dedicados a cuestiones ligadas a la energía que en las décadas de los 80' y 90'. Por tal motivo, se estimó conveniente ampliar el número de revistas y el período de relevamiento limitando la búsqueda a la conservación de la energía y temas afines. La Tabla I muestra una síntesis de lo recopilado en esta revisión.

<i>Autores</i>	<i>Año</i>	<i>Niv</i>	<i>Temática abordada</i>	<i>Conclusiones</i>	
Forjan y Slisko	2014	S	Simplificaciones que obstaculizan la comprensión de conceptos físicos	Uso de simplificaciones que no siempre son explícitas o que resultan ambiguas	
Giorgi, Cámara, Marino y Carreri	2017	U			
Giorgi, Cámara, Marino, Carreri y Bonazzola	2014	U			
Marino, Giorgi, Cámara y Carreri	2016	U			
Alomá y Malaver	2007	U	Energía, Calor y trabajo en Termodinámica	Presencia de imprecisiones de naturaleza diversa y deslizamiento de errores conceptuales	
Romagnoli y Massa	2016	P	Fenómenos luminosos		
Giacosa, López, Maidana, Godoy, Wagner, Boari y Giorgi	2016	U	Problemas resueltos sobre corriente alterna		
Pérez, Álvarez y Serallé	2009	S	Historia de la Astronomía	Desatención de aspectos cualitativos y fenomenológicos. Énfasis excesivo en cuestiones matemáticas	
Palacio y Criado	2017	S	Masa, volumen y densidad		
Marino, Giorgi, Cámara y Carreri	2017	U	Movimiento ondulatorio		
Marino, Giorgi, Cámara y Carreri	2015	U	M.A.S		
Farina, Milicic, Jardón y Fernández	2016	U	Entropía		
Flores y Ulloa	2014	U			
Corbelle y Domínguez	2016	S	Radiactividad y tópicos de Física Nuclear		
Tenório, Souza, Nunez y Tenório	2015	S			
Giacosa, Zang, Giorgi, Maidana y Such	2013	U	Circuitos de corriente continua		
Giacosa, Giorgi y Maidana	2012	S			
Sena, Caballero y Moreira	2015	S	Desarrollo matemático de contenidos físicos		
Barbé, Espinoza y Gellert	2017	S			
Hoyos y Pocoví	2014 a	U	Transformaciones de Galileo		Límites de validez de los modelos no explícitos o ambiguos
Giacosa, Zang, Galeano, Maidana y Such	2018	U	Modelo de rayos paraxiales		
Catalán, Caballero y Moreira	2009	U	Inducción electromagnética		
Hoyos y Pocoví	2014b	U			
Hoyos y Pocoví	2017	U			
Giacosa, Galeano, Wagner, Boari, Such, y Zang	2017	U	Oscilaciones electromagnéticas libres y forzadas	Predominio del sistema simbólico. Falta de coherencia entre el sistema lingüístico y el simbólico o con débiles traducciones	
Giacosa, Zang, Galeano y Such	2014	U			
Pocoví y Hoyos	2011	U	Corriente de desplazamiento		
Pocoví y Collivadino	2014	U	Campo		

Krapas y Corrêa da Silva	2008	U	Campo eléctrico	Falta de explicitación de la polisemia de ciertos conceptos en el contexto científico y en el cotidiano. Desatención de ideas previas
Machado y Marmitt	2016	U	Fuerza	
Bravo y Pesa	2017	U	Interferencia difracción	
Murugó, Tallada e Izquierdo	2016	S	Energía en Biología	Reconstrucción lógica y racional posterior que no refleja fielmente la realidad. Escasa mención al contexto de surgimiento ni a las motivaciones para cambios de modelo
Krapas	2011a	S/U	La luz como onda electromagnética	
Krapas	2011b	S/U	Teoría ondulatoria de Huygens	
Araújo y da Silva	2009	U		
Domenech, Savall y Torregrosa	2013	S	Modelos atómicos	
Cid y Dasilva	2012	S		
Moreno, Badillo y Miranda	2010	S		
Cuellar, Badillo y Miranda	2008	S		
Cloute, Gil y Rodríguez	2016	S	Analogías	
Da Rosa, Cótica y Enrique	2016	S		No se identifican alcances, se establecen con conocimiento no disponible. Fuente de concepciones alternativas
Silva y Martins	2016	S		
García	2008	S	Electrónica y electricidad	
de Pro y de Pro	2011	S		Escasa alusión a las relaciones CTS. Ausencia de discusión sobre facetas controvertidas de los conceptos
García y Criado	2008	S	Energía nuclear.	
Martín, Prieto y Giménez	2013	S	Producción y consumo de energía	
Silva y Monteiro	2015	S	Balanza de Coulomb	Presencia de errores conceptuales en imágenes. Tratamiento de la imagen como si fuera autoevidente. Poca relación entre texto e imagen
Galperin y Raviolo	2017	P	Día y noche, movimiento diario del Sol	
Galperin, Raviolo, Prieto y Señorans	2014	P		
Díaz y Pandiella	2007	S	Generación y distribución de energía	
Giacosa, Vergara, Zang, Galeano, y Such	2016	U	Análisis de problemas resueltos	Orientados al uso de algoritmos matemáticos y con escasa interpretación y validación de resultados
Giacosa, Zang, Giorgi, Maidana y Such	2015	U		
Forjan, Slisko, Marhl y Grubelnik	2014	S		
Garzón y Slisko	2010	S	Desarrollo de aspectos históricos en tópicos de Física	Poca presencia de los aspectos históricos. La ciencia se presenta como un proceso lineal y simplista. Se transmite una visión positivista y dogmática de la ciencia
Silva y Pimentel	2008	S		
Lima, Ostermann, Cavalcanti	2017	S		
Monteiro y Nardi	2015	S	Contribuciones de Galileo a la Astronomía	
Luna y Carrera	2011	S	Cuestiones sobre naturaleza de la ciencia	
Maturano y Mazzitelli	2018	S		
Farina, Milicic, Jardón y Fernández	2016	U	Argumentaciones en torno a entropía	

Tabla I: Síntesis de artículos publicados en revistas periódicas de acceso libre en el período 2007-2018 que recogen aspectos vinculados a los contenidos de Física desarrollados en los libros de texto.

De aquellos que se consideran pertinentes para esta tesis, a continuación se presenta una breve descripción que amplía la información proporcionada en la Tabla 1.

Uno de los temas de interés para la comunidad de investigadores son las simplificaciones que se realizan en los libros de textos al modelar sistemas físicos. Varios reportes alertan que éstas no siempre son explícitas. Al abordar las leyes de

Newton se utilizan hipótesis como la de cuerda inextensible y sin masa. En la mayoría se aclara adecuadamente la primera, pero en pocos la segunda (Marino, Giorgi, Cámara y Carreri, 2016). Las simplificaciones tendientes a facilitar el estudio de sistemas con poleas no se explicitan frecuentemente y, en contadas excepciones, se discuten las implicancias de dichas simplificaciones (Giorgi, Cámara, Marino y Carreri, 2017). Aun cuando las simplificaciones se usan de manera explícita en algunos textos, no siempre están exentas de ambigüedades. Por ejemplo, en cinemática, se adopta el modelo de partícula pero sin aclarar que esto conlleva dos connotaciones físicas diferentes. Resaltan la necesidad de alertar a los estudiantes sobre los diversos significados físicos que subyacen a las simplificaciones que se realizan (Giorgi, Cámara, Marino, Carreri y Bonazzola, 2014). Forjan y Slisko (2014) también analizaron las simplificaciones e idealizaciones en temas de termodinámica, electricidad y ondas, en tres libros de texto eslovenos de Física de nivel medio. Encontraron que se presentan diversas ecuaciones sin tomar en cuenta sus restricciones y ámbitos de validez. No encontraron comentarios explícitos sobre suposiciones y aproximaciones en los problemas resueltos.

Por otro lado, Marino y colaboradores (2015) señalan que en los libros de texto universitarios se enfatiza una comparación del M.A.S. (movimiento armónico simple) con el movimiento circular uniforme. Si bien esto beneficia a los estudiantes en el manejo de herramientas matemáticas, podría ser una fuente de conceptualizaciones inadecuadas, dado que la frecuencia angular (ω) se definiría de manera ambigua. En un estudio posterior (2017), realizado sobre los mismos libros, detectaron que no se señala adecuadamente que la frecuencia y la amplitud de una onda quedan determinadas por las características de la fuente perturbadora y que la rapidez de propagación depende de las propiedades del medio; los parámetros del movimiento se relacionan

matemáticamente sin atender a aspectos fenomenológicos (Marino, Giorgi, Cámara y Carreri, 2017).

Por otra parte, en los libros de termodinámica usados habitualmente en carreras de Ingeniería de Venezuela, en lo que respecta al tratamiento de los conceptos de energía, calor y trabajo y el teorema de Carnot, se presenta una serie de imprecisiones y de concepciones no formales de dichos conceptos (Alomá y Malaver, 2007). La energía se vincula a términos como energía cinética, energía potencial, etc. y al principio de conservación pero sin mediar una definición precisa. En general, el calor es entendido como una forma de energía. Algo similar sucede con el trabajo en algunos libros. La visión utilitaria de la energía presente en varios libros, podría reforzar ideas alternativas provenientes del sentido común y que obstaculizarían el aprendizaje de la transformación y conservación de la energía en términos científicos.

Varios estudios coinciden en que la entropía se presenta siguiendo tres enfoques: el clásico o macroscópico, el microscópico y el axiomático. En general se presenta primero el enfoque clásico y luego el microscópico (Farina y Utges, 2015; Farina, Milicic, Jardón y Fernández, 2016). Los autores reconocen el carácter polisémico de la entropía e indican que no es explícito en docentes ni en libros de texto que esas diversas connotaciones están estrechamente relacionadas y en conjunto favorecen su estudio. Coinciden en que se la presenta vía una expresión matemática sin preocuparse por lo fenomenológico (Farina y Utges, 2015; Farina *et al.*, 2016; Flores y Ulloa, 2014).

Se recopilaron varios trabajos que abordan conceptos propios del Electromagnetismo. Según Krapas y Corrêa (2008), la no explicitación en los textos de los diferentes significados que adquiere el término campo, podría ser uno de los factores que influye en las dificultades de los estudiantes para su aprendizaje. Además, cuando se aborda campo eléctrico, se utiliza el término tanto para hacer referencia al vector en

un punto como a la función vectorial de la cual se calcula el flujo (Pocoví y Collivadino, 2014). Machado y Marmitt (2016), por su parte, encontraron que también al concepto de fuerza se le atribuye un carácter polisémico en libros de texto de educación superior brasileños, sin embargo esta pluralidad no se aborda explícitamente. Otro estudio advierte que al enunciarse las leyes de Newton no siempre se especifica su validez en sistemas inerciales ni su invariancia frente a las transformaciones de Galileo. Si bien Hoyos y Pocoví (2014a) no analizan el tratamiento dado a las fuerzas, sus hallazgos en torno a estas transformaciones están ligados a su desarrollo. Concluyen que las transformaciones están subvaloradas en los libros universitarios: en la mayoría, se las reduce a un listado de ecuaciones que no explota su potencial en otros temas.

Un estudio sobre Inducción electromagnética, reveló que si bien los formatos y secuencias utilizadas en los tres libros universitarios analizados son diferentes, se desarrolla claramente la ley de Faraday. Sin embargo, no se explicita con claridad los límites de validez de los modelos científicos que se presentan (Catalán, Caballero y Moreira, 2009). Otro estudio reveló que no se describe lingüísticamente la ontología del concepto de inducción electromagnética; en todos los libros se utiliza la fuerza correcta para el cálculo del trabajo, pero sin advertir que ésta no es la fuerza magnética sobre las cargas, lo que podría inducir a errores conceptuales (Hoyos y Pocoví, 2018).

Otro de los factores que influiría en el aprendizaje está ligado con las traducciones lingüísticas-simbólicas y simbólicas-simbólicas que deben efectuar los estudiantes al leer libros de texto. Pocoví y Hoyos (2011) señalaron que, en lo relativo al tema corriente de desplazamiento, la traducción del sistema simbólico al lingüístico en libros universitarios usados en Argentina es escueta o imprecisa. En otro estudio, Pocoví y Collivadino (2014), encontraron que existen diferencias en la simbología involucrada en la definición de flujo de un campo entre los libros universitarios de Física y los de

Cálculo. Éstas impactan en las traducciones simbólicas-simbólicas que deben realizarse. Hoyos y Pocoví (2014b), tras el análisis del tema inducción electromagnética en libros universitarios de Argentina, encontraron que el carácter temporal de la variación involucrada en el concepto de fuerza electromotriz (*fem*) inducida no se explicita con frecuencia (en forma lingüística se lo hace en pocos y en forma simbólica en ninguno).

Análogamente, Giacosa y colaboradores (2014) hicieron un análisis similar del tema oscilaciones electromagnéticas forzadas en textos universitarios. Detectaron que en algunos ejemplares, las afirmaciones lingüísticas no son consistentes con las aseveraciones simbólicas. También estudiaron el tema oscilaciones electromagnéticas libres sobre la misma muestra de libros. Determinaron que la secuencia propuesta es relativamente homogénea, no así el tratamiento matemático. Son escasas las analogías y las aplicaciones a la vida cotidiana. Prevalecen problemas resueltos cerrados y cuantitativos. Se detectaron errores conceptuales en dos ejemplares. Se concluye que algunos aspectos se tratan adecuadamente, pero otros merecerían mayor elaboración (Giacosa *et al.*, 2017). También se analizó el tema circuitos de corriente continua. Se halló que en la mayoría se modela implícitamente el circuito como sistema aislado y se deducen ecuaciones descriptivas a partir del principio de conservación de la energía. Predomina el instrumentalismo matemático. Las imágenes, analogías, referencias históricas y aplicaciones a la vida cotidiana son escasas (Giacosa, Zang, Giorgi, Maidana y Such, 2013; Giacosa, Giorgi y Maidana, 2012).

Según Bravo y Pesa (2017), las dificultades para comprender el paradigma ondulatorio por parte de estudiantes podrían deberse, por un lado, al fuerte arraigo de las ideas sobre propagación rectilínea y por el otro, a la instrucción formal y a los libros de texto. Las investigadoras realizan una serie de sugerencias para superarlas.

Por otro lado, se encontraron ambigüedades en el planteamiento del modelo rayos paraxiales en libros universitarios de Física, que aparecen porque no se explicitan los elementos comparativos para las variables que se utilizan en la delimitación del rayo paraxial (ángulo pequeño, rayos cercanos y tamaño del espejo). En algunos se evita mencionar la aproximación realizada o no se remarcan con el énfasis adecuado los límites de validez del modelo (Giacosa, Zang, Galeano, Maidana y Such, 2018).

Otra línea se focalizó en el análisis de la transposición didáctica de algunos conceptos. Se advierte que la reconstrucción de la teoría que aparece en los libros de texto está muy alejada de lo propuesto originalmente. Krapas (2008) comparó el *Tratado sobre la Luz* de Huygens con los libros de texto de niveles medio y universitario usados en la enseñanza de Óptica. Advierte que surgen inconvenientes al utilizar el principio de Huygens fuera de su modelo original; los mismos no son considerados por los autores de libros de texto. Araújo y da Silva (2009), compararon la teoría de Huygens con la versión que aparece en algunos libros de Física universitarios. En estos se incorporan contribuciones posteriores que conducen a una visión inadecuada de su evolución. Krapas (2011), también analizó cómo se presenta la luz como onda electromagnética en los manuales de los niveles medio y superior de Brasil y los comparó con los trabajos originales de Maxwell. Concluyó que en los libros aparece una inversión en el orden de los acontecimientos históricos, dado que toman el experimento de Hertz (que confirmó la Teoría de Maxwell) como punto de partida. No se aclara que Maxwell basó su teoría en la existencia del éter.

Se encontró un artículo sobre la nutrición celular en libros de Educación Secundaria Obligatoria (ESO) que reveló que se muestra una multiplicidad de conceptualizaciones para la energía. Las más comunes son las relacionadas con la idea de flujo y almacenaje. Además, se materializa a la energía y no se consideran sus

características de conservación, degradación, transferencia y transformación (Pérez, Marbà e Izquierdo, 2016).

Otra línea está conformada por los trabajos de investigación que analizaron las formas discursivas de la ciencia presentes en libros de texto. Uno analizó libros de Física de Educación Secundaria de Brasil y reveló que, en la mayoría, los autores no identifican los límites de validez de las analogías y no presentan las conclusiones, dejando esta tarea a cargo del alumno o del profesor (Silva y Martins, 2010). Otro estudio, que se limitó a las analogías usadas en el tema electricidad, reveló que algunas de ellas son idiosincráticas, y que, a veces, se establecen con conocimientos anteriores, que pueden no estar disponibles en el alumno, lo cual dificulta que se conozca lo que se pretende comparar (da Rosa, Cótica y Henrique, 2016). Un artículo analizó las argumentaciones en relación a la Entropía y encontró que, en general, se transmite un modelo dogmático de Ciencia (Farina *et al.*, 2016).

Existen varios estudios que analizan el tratamiento que se da a las relaciones Ciencia, Tecnología y Sociedad (CTS). Por ejemplo, de Pro y de Pro (2011), indagaron sobre estos aspectos en libros de texto de Tecnología de 3º de ESO para los temas de electricidad y electrónica. En tanto García y Criado (2008) lo hicieron para el tratamiento de la energía nuclear en libros de Física y Química de 3º de ESO. García (2008) lo hizo en libros de texto de Tecnología de 3º de ESO, en tanto que Martín, Prieto y Jiménez (2013) en torno al tema de energía. Advierten que se presta poca atención a las relaciones CTS y a los aspectos controvertidos de los conceptos.

También se encontraron trabajos que analizan los problemas resueltos y las actividades que se proponen en la bibliografía. Forjan y Slisko (2014) analizan si las etapas de la modelización matemática en Física están contempladas en los problemas resueltos que presentan dos de los libros de Física de la escuela secundaria eslovena.

Encontraron que están desarrolladas de forma desigual, estando incluso ausentes algunas. Por otro lado, los problemas resueltos en libros de texto universitarios inherentes a los temas circuitos RC y circuitos RL en corriente continua, y circuitos resistivos inductivos capacitivos (RLC) en corriente alterna, son cerrados y cuantitativos, y en la mayoría no se explicita el modelo físico adoptado; atributos que estimularían el uso de algoritmos matemáticos y no propiciarían la comprensión cualitativa de los problemas ni el análisis de los conceptos físicos subyacentes (Giacosa, Vergara, Zang, Galeano y Such, 2016; Giacosa, Zang, Giorgi, Maidana y Such, 2013; Giacosa *et al.*, 2012). También se encontraron errores en los problemas resueltos sobre circuitos de corriente alterna (Giacosa *et al.*, 2016).

Existen numerosos trabajos relacionados con los errores de los libros de texto de distintos niveles educativos (Campanario, 2006; Hubisz, 2003; Pérez, Álvarez y Serrallé, 2009; Quílez, 2009; Slisko, 2000, 2003, 2005).

Se hallaron reportes que analizaron si se contemplan cuestiones ligadas a la historia en el desarrollo de los modelos atómicos. En general, se obedece a la transmisión y repetición de contenidos curriculares enmarcados en el paradigma positivista; los modelos se muestran terminados sin mencionar los problemas que los originaron y los que solucionaron; y no se citan conflictos y controversias a las que se enfrentaron en la construcción del modelo (Cuellar, Badillo y Miranda, 2008; Moreno, Badillo y Miranda, 2010; Doménech, Savall, Torregrosa, 2013, Cid y Dasilva, 2012).

Garzón y Slisko (2010), en libros mexicanos de secundaria, encontraron deficiencias en las presentaciones que se realizan acerca del experimento de Galileo; que repercuten negativamente en el aprendizaje al enfatizar aspectos de la Ciencia que son inexactos. Asimismo, las contribuciones de Galileo a la Astronomía se presentan desarticuladas entre sí y se tratan desde una perspectiva empirista-inductivista en libros

brasileños de secundaria (Monteiro y Nardi, 2015). Y, en lo que respecta a electricidad, presentan una historia distorsionada y simplificada, muy centrada en Franklin y sus descubrimientos, sin tomar en cuenta trabajos previos (Silva y Pimentel, 2008).

En los libros que se usaron en el Polimodal de Argentina, se promueven concepciones científicas cercanas al positivismo (Luna y Carreri, 2011). Resultados semejantes se encontraron en libros brasileños de nivel medio usados en la enseñanza de Física Cuántica. Se presenta una historia reconstruida que no muestra ni conceptual ni cronológicamente el desarrollo de la disciplina (Lima, Ostermann y Cavalcanti, 2017).

En otro trabajo, se analizaron aspectos relacionados con la Naturaleza de la Ciencia en capítulos destinados al estudio de la energía en libros del nivel medio argentino. En los tradicionales, el tratamiento de estos aspectos se hace disociado de los contenidos específicos y en los libros recientes se incluyen secciones que plantean el carácter tentativo y subjetivo del conocimiento científico (Maturano y Mazzitelli, 2018b).

Finalmente, se encontraron trabajos que se focalizaron en el tratamiento didáctico de las imágenes (Díaz y Pandiella, 2007; Silva y Monteiro, 2015). En general, no se articula coherentemente la imagen con el texto y se las considera autoevidentes. Las imágenes inherentes al fenómeno del día y la noche, a las estaciones del año y fases lunares presentes en libros argentinos de Educación Primaria, exhiben errores conceptuales y didácticos (Galperin, Raviolo, Prieto y Señorans, 2014; Galperin y Raviolo, 2017). Otros estudios similares abordan la misma temática (Dimopoulos, Koulaidis y Sklaveniti, 2003; Jiménez y Perales, 2001, 2002; Otero, Moreira y Greca, 2002; Perales y Jiménez, 2002; Perales, 2006).

2.4. Aportes de la investigación a la enseñanza y el aprendizaje de la energía

2.4.1. Concepciones alternativas sobre energía

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 80' y 90'. Uno de los ejes principales de la investigación relativa al tema se refiere a la documentación de las concepciones de los estudiantes (Watts, 1983; Duit, 1981a, 1981b, 1984; 1987; Trumper, 1990, 1991, 1996, 1997, 1998).

Las perspectivas explicativas de los estudiantes para situaciones en las que interviene la energía son diversas. Watts (1983), advierte que una fuente de dificultad surge del no reconocimiento de que los estudiantes tienen ideas bien desarrolladas alrededor de muchas de las palabras de la ciencia, desde mucho tiempo antes de que la enseñanza formal de esas ideas tuviera lugar. Presentó una lista exhaustiva de los diversos marcos utilizados por los estudiantes en relación con la energía y que ha sido usada frecuentemente en las investigaciones vinculadas a la energía:

- 1) Esquema “antropocéntrico”: asocian la energía principalmente con los seres humanos, o tratan los objetos como si tuvieran atributos humanos.
- 2) Esquema “depósito”: los objetos tienen energía y la gastan, es necesario recargarla.
- 3) Esquema “ingrediente”: la energía es un ingrediente latente dentro de objetos o situaciones que necesita un disparador para liberarse.
- 4) Esquema “actividad”: la conciben como una fuente de actividad almacenada dentro de ciertos objetos, vinculada principalmente al movimiento.
- 5) Esquema “producto”: se la considera como un producto relativamente breve que se genera, se activa y luego desaparece o se desvanece.

6) Esquema “funcional”: los estudiantes la valoran por su valor utilitario, la energía es vista como un combustible que asocia con los procesos que hacen cómoda la vida.

7) Esquema “flujo”: la energía se asocia con un tipo de fluido o sustancia.

Duit (1981a), muestra que la tendencia de los estudiantes es asociar energía con ciertos objetos, como baterías y combustibles, en lugar de procesos y construcciones abstractas. Además, plantea que la incidencia de la enseñanza en las concepciones de los alumnos es escasa: los estudiantes tienen ideas alternativas sobre energía y trabajo que persisten a pesar de la instrucción formal. En este sentido, antes de la instrucción en física, los estudiantes no vinculaban entre sí los conceptos de energía y trabajo. Si bien persisten las asociaciones de la energía con la corriente eléctrica y los combustibles, la principal influencia de la enseñanza con respecto al significado de la energía es un vínculo más estrecho con el término trabajo y con otros términos físicos como fuerza y potencia (Duit, 1981b). En otro estudio, que realizó con estudiantes de secundaria de Alemania, Suiza y Filipinas, detectó que los estudiantes confunden la energía con corriente eléctrica, con fuerza y potencia. Además, la mayoría no menciona la conservación de la energía cuando explican procesos idealizados simples de mecánica (sin fricción) y no apelan a la degradación de la energía (Duit, 1984).

Solomon (1983) ha informado que los niños suelen comenzar con ideas de energía relacionadas con experiencias personales de actividades humanas. Señala que los estudiantes deberían ser conscientes de que piensan y operan en dos dominios diferentes de conocimiento: el de las nociones de todos los días y el de las explicaciones científicas. Estos dos dominios son diferentes tanto en su génesis como en su modo de operar. Considera que las concepciones energéticas de los niños fuera de la escuela son desordenadas, contradictorias y persistentes. En el dominio “científico”, desarrollado en

la escuela, se llegan a aprender otras interpretaciones. Sin embargo, las estructuras del dominio cotidiano no desaparecen porque las interpretaciones aprendidas en la escuela son extrañas, resultan más frágiles y están menos valoradas porque están restringidas a un grupo especializado y al horario escolar. El investigador además, a través de una experiencia empírica, demostró que estudiantes de 14-15 años incluyen términos cotidianos en las respuestas que dan a la tarea de explicar las transformaciones de energía que tienen lugar en una máquina de vapor que mueve una turbina.

En esta misma línea, otros estudios permitieron exponer las concepciones de los estudiantes israelíes de secundaria sobre la energía. La identificación de estas ideas alternativas motivó el diseño de secuencias de instrucción que versaron sobre los marcos más dominantes presentes en los alumnos: el marco antropocéntrico en el que la energía se asocia principalmente con los seres humanos (Trumper, 1990) y, los marcos de "causa", en el que la energía es la que causa las cosas, y "producto", en el que la energía es producto de procesos (Trumper, 1991). Bajo estos supuestos, se implementaron estrategias de instrucción tendientes a lograr desequilibrios cognitivos (Trumper, 1997). Se observaron diferentes respuestas frente a estas situaciones de desequilibrio. Por ejemplo, cuando se les presentó un circuito eléctrico simple, los estudiantes no lograron diferenciar entre energía eléctrica y corriente eléctrica. Describieron la energía como algo material que se transfiere a través de cables. Confundieron los conceptos de fuerza y energía, esto quedó expuesto en las respuestas que dieron a un problema en el que un hombre debía levantar un objeto pesado de un nivel a otro a través de rampas de diferentes formas. Aun cuando se preguntó explícitamente en qué caso se requiere más energía, todas sus respuestas involucraron el concepto de fuerza. También mostraron dificultades para reconocer que la energía potencial es relativa a un nivel de referencia.

Por otro lado, se detectó que las concepciones alternativas sobre la energía persisten a través del tiempo y ni la instrucción formal es eficaz para su destierro. Los futuros profesores de secundaria de física, sostienen una serie de marcos conceptuales alternativos, además del concepto científico aceptado o en lugar de éste, al describir situaciones físicas (Trumper, 1996; 1998). Principalmente piensan que la energía es una entidad concreta y no una idea abstracta, la mayoría no acepta la idea de la degradación de la energía. Al igual que los estudiantes de menos edad, confunden los conceptos de energía y fuerza y sostienen puntos de vista próximos al marco antropocéntrico.

Carr y Kirkwood (1988), presentaron resultados de un estudio realizado con estudiantes de entre 13 y 15 años, a los que solicitaron que expliquen las cadenas de transformaciones energéticas en diferentes situaciones. Descubrieron que los alumnos confunden formas de energía y fuentes. Profundizando en esta línea, Solomon (1985), encontró que los alumnos no diferencian la naturaleza abstracta del concepto de energía y la sustancia material que la provee.

Varios trabajos señalan la importancia de elegir adecuadamente los sistemas al abordar problemas que involucren energía. Lindsay, Herón y Shaffer (2012) decidieron investigar más a fondo la comprensión de los estudiantes sobre la importancia de elegir un sistema de interés y establecer las relaciones de éste con su entorno y, además, sobre las implicaciones de esta elección en el análisis energético posterior. Encontraron que los estudiantes no reconocieron que un análisis de energía depende de la elección del sistema, tendían a asociar energía potencial a un objeto puntual en lugar de asociarla a una colección de objetos, a contar doble los términos de trabajo y energía dado que inconscientemente consideraron una interacción dos veces por la coexistencia de dos elecciones diferentes del sistema (en sus planteos incluyeron simultáneamente el trabajo mgh que realiza la fuerza peso sobre el sistema conformado por una única partícula, y

un término de energía potencial gravitatoria mgh para el sistema formado por la partícula y la Tierra). Concluyen que muchos profesores de física son conscientes de que la elección de un sistema de interés no siempre se hace explícita para los estudiantes, y que el uso informal de expresiones que asocian energía potencial con un objeto en lugar de con un sistema es común. Agregan que, en muchos casos, se hace poco daño porque las soluciones correctas a los problemas a menudo se pueden obtener a pesar de la falta de precisión en la discusión de los sistemas. Sin embargo, sus resultados revelan que las inconsistencias al considerar los sistemas pueden tener serias implicaciones.

2.4.2. Aspectos controvertidos en la enseñanza de la energía

Las dificultades detectadas en los estudiantes para la conceptualización de la energía motivaron el interés de diversos investigadores sobre la forma más apropiada de introducir el concepto en las aulas. 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 concordancia con Feynman, Leighton y Sands (1987), insiste en que la energía es un concepto matemático abstracto. Warren (1982) plantea, además, que la enseñanza de la energía debe partir de su definición científica, en caso contrario todo lo que se enseñe es ambiguo y en gran medida carece de sentido. Esta definición científica de la energía demanda que el estudiante comprenda la idea de trabajo, que a su vez depende de la comprensión del concepto científico de fuerza. Reconoce que este enfoque resulta muy abstracto y formal para gran parte de los profesores y alumnos, por ello manifiesta que sólo es 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). Otras investigaciones, en cambio,

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 la degradación de la energía como uno de sus aspectos fundamentales. 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 (Lehrman, 1973; Sefton, 2004; Sexl, 1981).

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, señalan que "la energía es una propiedad o atributo de todo cuerpo o sistema material en virtud de la cual éste puede transformarse, modificando su situación o estado, así como actuar sobre otros originando en ellos procesos de transformación" (Hierrezuelo y Molina, 1990, p.23). Al finalizar un proceso didáctico de esta índole, tiene sentido introducir el trabajo como una medida de la energía transferida en determinado proceso.

2.4.3. Críticas a la enseñanza tradicional de la energía y a los libros de texto

Un problema que ha sido abordado por la investigación involucra la evaluación de la práctica educativa tradicional a través de la evaluación de la comprensión de los estudiantes sobre ciertos aspectos de la energía. En esta línea también se encuentran aquellos trabajos que realizan una crítica al desarrollo conceptual que se presenta en los libros que se utilizan en el ámbito académico.

Bauman (1992a, 1992b), cuestiona los enfoques tradicionales para la enseñanza de ciertos tópicos de física presentes en los libros de texto y afirma categóricamente que sus autores se equivocan en algunos de los tratamientos que presentan. Bauman (1992a) comienza planteando que los libros de texto contienen importantes inconsistencias, a

menudo en forma de simplificaciones, pero también por una falta de atención adecuada al definir los términos. Luego exhibe ejemplos de situaciones usuales que se resuelven invocando al concepto de trabajo y al teorema que lo vincula con la energía cinética; presentando argumentos que avalan sus críticas. Por último, indica que algunas ideas equivocadas sobre el trabajo tienen su origen en la identificación de este término con el de fuerza: las fuerzas son libres y se pueden ejercer durante cualquier tiempo sin ningún gasto de energía. En cambio, la energía se transfiere, sólo cuando se mueve el punto de aplicación de una fuerza. Bauman (1992b), indica que en ocasiones, en los textos, no se interpreta correctamente al calor y a la temperatura. Expresa que algo similar acontece con la conservación de la energía dado que en los libros de ciencia esta palabra tiene dos significados. Por una parte, la conservación indica una propiedad de un sistema que no varía, es una “constante del movimiento” (no obstante la energía no es constante en el movimiento de sistemas simples como el de la Tierra y una pelota que rebota). Por otra parte, la conservación indica que no hay ni creación ni pérdida. Agrega que, cuando se habla de “leyes de conservación” se debe entender que se refiere al segundo significado. Sin embargo, en la mayoría de los libros, se utiliza el primero.

Varios trabajos se ocupan de señalar inconsistencias en el desarrollo usual del trabajo de la fuerza de rozamiento en los libros introductorios de Física. Sherwood y Bernard (1984), en un trabajo altamente citado, afirman que, a menudo, se les pide a los estudiantes que calculen "el trabajo realizado por la fuerza de fricción". Señalan que, dado que esta cantidad depende del desplazamiento efectivo desconocido de la fuerza de fricción, el trabajo de fricción no se puede calcular. Argumentan que, lo que en realidad se solicita a los estudiantes, es que cuantifiquen el término $-\mu Nd$, pero que éste de ninguna manera corresponde al trabajo de la fuerza de rozamiento, puesto que su punto de aplicación no tiene un desplazamiento igual a d (desplazamiento del objeto). Por su

parte, Bauman (1992a), propone el análisis de una serie de situaciones en las que interviene la fricción para mostrar que el trabajo de las mismas transfiere energía a las superficies sobre las cuales se desplazan los objetos. Estas transferencias no se pueden calcular, dado que dicho trabajo no está definido operacionalmente. Jewett (2008a), por su parte, menciona inconsistencias adicionales en el tratamiento dado al trabajo de la fricción. Advierte que la definición general de trabajo establece que este es el producto escalar de la fuerza y el desplazamiento; luego, en los problemas en que se incluye el trabajo de la fricción, sin mediar justificación alguna, se lo calcula como fuerza por distancia. Plantea que para un estudiante que sigue un curso de Física basado en cálculo, este tratamiento no supone un inconveniente. Sin embargo, los problemas emergen para aquellos estudiantes cuyos cursos no se fundamentan en cálculo; dado que resulta difícil ofrecer argumentos que justifiquen cómo se pasa de considerar el desplazamiento a considerar la distancia en el cálculo del trabajo de la fuerza de rozamiento.

Por su parte Sefton (2004), revisa una serie de inconsistencias que comúnmente aparecen al aplicar los conceptos de trabajo y energía. Argumenta categóricamente a favor de no considerar formas de energía (que a su juicio está entrañablemente vinculada a una visión material de la energía) si lo que se quiere lograr es la comprensión de la energía como una magnitud abstracta. Plantea que enseñar sobre formas de energía no es del todo incorrecto pero lo desestima por no ser muy útil. Paralelamente señala que es frecuente en los textos encontrar expresiones en las que se asigna energía potencial a un objeto aislado, cuando es una propiedad compartida por un sistema de dos o más partículas. También hace declaraciones sobre la forma en que habitualmente es introducido el teorema de trabajo energía cinética: afirma que dicho teorema es probablemente la idea más inútil en los textos elementales sobre mecánica,

porque la forma en que generalmente se presenta es aplicado únicamente a un sistema de una sola partícula. Y en ese caso no agrega nada nuevo.

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

Con respecto a las fuerzas conservativas y la conservación de la energía, Chernicoff (1991) analiza en una muestra de libros universitarios la resolución que se propone a un problema donde se solicita calcular la magnitud de la velocidad del centro de masa de un cilindro/esfera que desciende por un plano inclinado rodando sin deslizar. Señala que uno de los métodos de resolución usados se basa en la aplicación del principio de conservación de la energía mecánica, aun cuando actúe una fuerza no conservativa. Afirma que en pocos libros de texto se llama la atención sobre este hecho y menos aun se da una explicación satisfactoria. Propone tres modos de demostrar que la fuerza no conservativa de la fricción estática está presente en el sistema pero que no disipa energía por no efectuar trabajo, con lo cual es lícito resolverlo apelando a la conservación de la energía mecánica. Paralelamente Cudmani (1995), advierte que el

tratamiento que la mayoría de los textos hace de situaciones con objetos en movimiento de traslación y rotación simultáneas, es a menudo incompleto. Y presenta ejemplos de éstas donde se puede ver que la fuerza de fricción, en ocasiones, contribuye al movimiento acelerando a los objetos. En otras circunstancias su presencia es necesaria para garantizar la rotación a pesar de no efectuar trabajo sobre el sistema.

También se han encontrado trabajos publicados en español. Por ejemplo, Michinel y D'Alessandro (1993, 1994) han revisado una serie de libros usados habitualmente en la educación básica y en el nivel universitario de Venezuela. Encontraron que en muchos de ellos no se define la energía a pesar de que el término es profusamente utilizado, además que un gran número contiene concepciones no formales de la energía, del trabajo y del calor, como por ejemplo identificar calor con una forma de energía y no como una manera de transferirla, confundir calor con energía térmica y ésta con energía interna, entre otras. Advierten que muchos términos del vocabulario que se utiliza habitualmente subsisten de la antigua teoría del calórico.

Por otro lado, Nuñez y colaboradores (2005) presentaron los resultados de una indagación que realizaron sobre algunos factores que, a su juicio, influyen en el aprendizaje del concepto de energía: el tratamiento que se da al tema en los libros de texto y las concepciones de los profesores. Para ello, analizaron la bibliografía accesible a los alumnos de nivel medio en Argentina y encontraron muchos errores conceptuales. Indicaron que los autores de muchos libros de texto evitan precisar el término y sólo mencionan algunas de sus características para acotarlo. En otros casos aparece una ambigüedad entre una definición incorrecta y el uso correcto en algunas situaciones. También advierten que los profesores consultan los libros de texto para ampliar su propio campo de conocimiento, y que, aquellos que presentan falencias en su formación

académica tienen mayores dificultades para realizar cambios didácticos e innovaciones y se vuelven más dependientes de éstos.

En una línea semejante, Solbes y Tarín (1998, 2004) analizaron las ideas de los estudiantes sobre la energía, y la forma en que se enseña dicho concepto desde el punto de vista de los libros de texto (usados en la ESO y en el Bachillerato en España) y de los profesores. Encontraron que en general los libros no toman en cuenta las ideas previas de los alumnos sobre energía, trabajo y calor. También señalan que la enseñanza de la energía se realiza a través de su conservación y transformación, y en menor medida la transferencia y degradación. Paralelamente marcan que en los cursos de Mecánica tampoco se explicita que las colisiones inelásticas y el rozamiento son fenómenos disipativos que limitan la conservación de la energía. Por otro lado, hallaron que los libros de texto presentan el teorema de trabajo y energía cinética deducido de las leyes de Newton y que luego, sin mediar explicación alguna, lo presentan como el principio de conservación de la energía (incurriendo de este modo en un error metodológico pues otorgan el estatus de principio a un teorema). Estos mismos autores señalan que este tratamiento es adecuado en Mecánica pero falla en otras ramas de la Física como por ejemplo en Electromagnetismo, donde la tercera ley de Newton deja de verificarse. Para lograr que el principio de conservación de la energía sea percibido por los estudiantes como un principio transversal a todas las ramas de energía, sugieren introducirlo siguiendo el camino histórico para finalmente arribar a que la energía total de un sistema aislado se conserva (Solbes y Tarín, 2008).

En lo que respecta específicamente al principio de conservación, las dificultades encontradas en la aplicación inexperta del teorema de trabajo-energía para cuerpos no rígidos y/o en rotación y que son habituales en los enfoques tradicionales de enseñanza han sido objeto de artículos de diversos autores. Penchina (1978) y Sherwood (1983)

han señalado que muchas interacciones se describen mejor en términos del denominado teorema del pseudo-trabajo y energía cinética. Este pseudo-trabajo se calcula como el trabajo que sería realizado por una fuerza igual a la fuerza neta que actúa sobre el sistema si actuara a lo largo de la trayectoria seguida por el centro de masa del sistema y además se demuestra que es igual al cambio de energía cinética de traslación del sistema. No es un trabajo real en un sentido fundamental, ya que generalmente implica fuerzas que realmente actúan en puntos distintos del centro de masas a través de desplazamientos que pueden coincidir o no con el desplazamiento del centro de masas.

Por su parte, Arons (1989) argumenta fuertemente que la principal idea alternativa, planteada en Física introductoria, es que el trabajo que aparece en el teorema de trabajo- energía cinética es idéntico al trabajo que aparece en la primera ley de la termodinámica. En concordancia con PENCHINA (1978) y SHERWOOD (1983), Arons (1989) recomienda el uso del término pseudo-trabajo para la cantidad vinculada al desplazamiento del centro de masa, reservando el nombre de trabajo para la magnitud que figura en la primera ley de la termodinámica. Por su parte, Jewett (2008a) discrepa con estos autores al manifestar que la introducción de diferentes tipos de trabajo en cursos elementales de Física genera confusión en los estudiantes y, a su criterio, estas dificultades pueden superarse definiendo, operacionalmente y sin ambigüedades, el trabajo como el producto de la fuerza por el desplazamiento de su punto de aplicación.

2.4.4. Sugerencias para el abordaje de la energía

Un grupo de investigadores ha realizado una revisión de la literatura vinculada al tema energía y reunió en una serie de proposiciones los aspectos a tener en cuenta para lograr una buena comprensión del concepto por parte de estudiantes de secundaria. Insisten en lograr una aproximación al significado de la energía, para lo cual se debe

enfaticar que la energía no es una especie de fluido, sino una magnitud que puede asociarse a la configuración del sistema y a las interacciones que estas configuraciones permiten, asimismo que las transformaciones en las configuraciones de los sistemas pueden asociarse a variaciones de energía en el mismo. Por otra parte sugieren recalcar su carácter sistémico y relativo, pues no tiene sentido hablar de la energía de un objeto aislado, y tampoco tiene sentido pensar a la energía como una magnitud absoluta, sino más bien en sus variaciones o valores relativos. Proponen también discutir acerca de las relaciones entre energía, trabajo y calor, acerca de la conservación y transformación de la energía y su degradación (Doménech *et al.*, 2001; Doménech *et al.*, 2003). Un trabajo similar fue realizado por Millar (2005). En dicho documento se resumen aspectos sobre cuál es el concepto científicamente aceptado para la energía, aspectos vinculados a enfoques para su enseñanza, a confusiones entre conceptos, etc. Para lograr una enseñanza efectiva sugiere introducir el concepto de energía térmica y diferenciarlo del calor una vez que los aspectos anteriores hayan quedado claros.

Por su parte, Mungan (2005) señala que el trabajo siempre se define como la integral de una fuerza sobre un desplazamiento. Afirma, en concordancia con Jewett (2008a), que los estudiantes deben ser llevados a considerar conscientemente qué fuerzas y qué desplazamientos están involucrados en dicha definición. Dependiendo del contexto, sugiere que se les pregunte si la fuerza es interna o externa, conservativa o no conservativa, de campo (acción a distancia) o de contacto, fuerzas aleatorias (térmicas) u organizadas. Similarmente, propone que, para el caso de los desplazamientos las opciones relevantes son: si este es el del centro de masa o el del punto de aplicación de la fuerza y, si es desplazamiento traslacional o angular. Indica además que se debe señalar explícitamente que para una partícula, el trabajo sobre el centro de masa, también denominado pseudo-trabajo (Arons, 1989; PENCHINA, 1978, Sherwood, 1983),

es igual al trabajo sobre la partícula. Solo para los objetos que pueden rotar, deformarse o sufrir cambios irreversibles, el trabajo del centro de masa y el de partículas proporcionan información distinta y complementaria sobre el comportamiento de un sistema. Concluye que ambos tipos de trabajo deben presentarse, en un curso introductorio, puesto que brindan una visión equilibrada del universo mecánico.

Gran parte de la investigación relativa al tema se centra en la ley de conservación de la energía y demuestra el fracaso de los enfoques de enseñanza tradicionales para promover la comprensión real y funcional. Los estudiantes, a menudo, pueden recordar y establecer correctamente la ley de conservación, sin embargo no pueden responder a preguntas que requieren una comprensión funcional de la misma y evitan usarla para analizar el comportamiento de los sistemas físicos (Driver y Warrington, 1985; Duit, 1984, Solomon, 1985). Estas falencias se atribuyen, en ocasiones, a la aparente inconsistencia entre la ley de conservación y la experiencia cotidiana, que sugiere que algo se está utilizando o gastando en los procesos en lugar de la existencia de algo que se conserva (Duit, 1984; Kesidou y Duit, 1993). Por su parte, Solomon (1985), afirma que es posible que las dificultades en la comprensión del principio de conservación de la energía fueran originadas por su formulación negativa: la energía no se crea, la energía no se destruye. Por ello, sugiere reemplazar esta formulación negativa por otra que establece afirmativamente que hay la misma cantidad de energía al principio que al final. Además, afirma que dada su formulación negativa, el principio de conservación puede ser fácilmente malentendido porque estaría implicando almacenamiento de energía dentro del sistema material (si la energía no se crea y no se destruye está presente en el sistema). Sugiere enseñar sobre la disipación y la degradación de la energía antes de la conservación para eliminar gran parte de este malentendido y luego presentar el principio reformulado de manera positiva.

Existen trabajos con sugerencias para la optimización de la efectividad de los enfoques de enseñanza de la energía y de los conceptos vinculados. Se señala la necesidad de enseñar sobre la segunda ley de la termodinámica en una etapa anterior y no al finalizar la instrucción en mecánica. En particular, se ha argumentado que comprender la idea de la degradación de la energía daría a los estudiantes un sentido para determinar la dirección de los procesos y también mejoraría la construcción de significado con respecto a la ley de conservación (Duit, 1981b, Kesidou y Duit, 1993). En concordancia, Brook y Wells (1988), tras haber diseñado e implementado una serie de actividades prácticas que involucran dinamos y bombillas, zumbadores eléctricos, motores y volantes, celdas electrolíticas, termopares y velas, péndulos, resortes, etc. y cuyo propósito tenía que ver con proveer a los estudiantes la oportunidad de que construyan la conservación de la energía por sí mismos, encontraron que los conceptos fundamentales de la segunda ley de la termodinámica son necesarios para entender el concepto de energía y su conservación.

En esta misma línea, varios trabajos se preocuparon en mostrar conexiones entre la mecánica y la termodinámica a través del abordaje de problemas mecánicos que involucran procesos disipativos, principalmente, en los que la conservación de la energía tal como se la aborda en mecánica resulta insuficiente para su explicación. Mungan (2007) analiza un problema idealizado, en el que se cumplen una serie de condiciones, para ilustrar como algunos conceptos básicos de termodinámica son necesarios para explicar cuestiones energéticas en presencia de fricción cinética. Finaliza el artículo diciendo que los estudiantes eventualmente deberían darse cuenta de que no siempre es conveniente ni necesario subordinar todas las transferencias de energía al "calor" o "trabajo". Por su parte, Mallinckrodt y Left (1992), plantean que la definición de trabajo en términos de fuerza y desplazamiento, sólo está bien definida

cuando la fuerza actúa en una partícula puntual o en cuerpos rígidos en movimiento de traslación. Por el contrario, cuando la mecánica se extiende a un dominio de la "vida real" que involucra objetos macroscópicos con modos de energía interna y disipación, esta definición es insuficiente. Luego de la revisión de la literatura que hicieron, que les permitió detectar siete tipos diferentes de trabajo y sus vínculos con diferentes tipos de energía, aplican los resultados que obtuvieron a varios ejemplos, que fueron elegidos para ilustrar distinciones sutiles entre ellos y mostrar la forma en que se los puede utilizar para reducir la brecha conceptual entre la mecánica "pura" de partículas puntuales y la termodinámica de la materia macroscópica.

En esta línea se ubica el trabajo de Sherwood y Bernard (1984), donde se afirma que generalmente se ha calculado incorrectamente el trabajo realizado por las fuerzas de fricción. Los autores señalan que la clave para un tratamiento adecuado radica en hacer una distinción entre una integral puramente mecánica de la segunda ley de Newton, por una parte, y la primera ley de la termodinámica, por otra. Agregan que estas dos ecuaciones son las mismas para partículas puntuales, pero difieren para sistemas deformables o para los que incluyen sistemas sujetos a fricción cinética. Exponen un modelo que demuestra que el desplazamiento del objeto no es el mismo que el desplazamiento de los muchos puntos de aplicación de la fuerza de rozamiento; luego lo aplican a problemas mecánicos simples, para demostrar que, sin las contribuciones de la termodinámica, se obtienen resultados contradictorios (dado que no se contempla el calor que aparece asociado a las transformaciones de energía que ocurren debido a la fricción). A veces, las sugerencias incluyen ciertas simplificaciones que se espera que apoyen los intentos de los estudiantes de construir un significado. Una de estas simplificaciones propone la introducción de energía como una sustancia cuasi-material. Duit (1987), muestra que la concepción cuasi-material de la energía si bien tuvo un

papel notable en la física de la primera mitad del siglo XIX (tal como lo demuestra el desarrollo de la teoría del calórico), luego fue rechazada concluyentemente por la mayoría de los científicos. El investigador, además muestra las limitaciones de adherir a una concepción cuasi material de la energía (es compatible con la teoría clásica de campos pero no con la teoría de la relatividad ni la física cuántica dado el carácter deslocalizado de la energía en estas últimas). Sin embargo, reconoce que la concepción cuasi-material hace posible que el concepto abstracto de energía se explique de una forma más tangible y que se entienda más fácilmente por los alumnos. Fundamentando su propuesta en estas ideas, Schmid (1982) diseñó una secuencia de enseñanza en la que la energía se exhibe como una sustancia fluida, que se transfiere a través de los portadores de energía de un lugar a otro. No obstante, este enfoque ha sido cuestionado por socavar los intentos de dar sentido al papel de los conceptos abstractos en la ciencia. Duit (1981a, 1984) ha realizado una contribución muy importante en la enseñanza de la energía al señalar que se deben contemplar cinco aspectos fundamentales: el concepto propiamente dicho, su transformación, transferencia, conservación y degradación.

CAPÍTULO 3: MARCO TEÓRICO

3.1. Encuadre general

La complejidad de los procesos de enseñanza y de aprendizaje es ciertamente reconocida desde la investigación educativa. Desde el modelo socio-cultural se sostiene que en ellos intervienen una multitud de variables interrelacionadas: personas, contenidos, modelos de enseñanza, modelos mentales de los alumnos, estrategias docentes y recursos didácticos, etc. que constituyen un conjunto de elementos que se vinculan entre sí de un modo peculiar.

Aprender es construir y organizar conceptos y significados. Desde esta perspectiva, el proceso de construcción, revisión y reconstrucción, que es promovido por la enseñanza, puede ser favorecido en los estudiantes con el uso de materiales didácticos adecuados. Según Chevallard (1991), una parte importante del proceso instruccional y del proceso de transposición didáctica se realiza a través de los manuales escolares.

3.1.1. El aprendizaje a partir de los textos

Desde la postura asumida en esta tesis, la comprensión lectora consiste en la reelaboración de los conocimientos del texto para integrarlos con los conocimientos previos y además involucra el recuerdo de las ideas y conceptos fundamentales (Macías, Castro y Maturana, 1999). La comprensión de un texto no es la suma de los significados de las proposiciones que lo componen, sino que se requiere, además, que el lector lleve a cabo una integración global del texto y una interpretación del mismo, en la que se entremezclan sus conocimientos previos con la información presente en el texto (García, 1993).

Para comprender un texto escrito se realizan variadas operaciones intelectuales de gran complejidad. Los procesos léxicos, entendidos éstos como la decodificación de signos gráficos o letras escritas, el reconocimiento de palabras y lo que esto significa, son necesarios pero no suficientes para la lectura comprensiva. Además se deben activar conocimientos de tipo sintáctico que relacionan las palabras, conformando unidades más amplias como las oraciones y frases con una determinada estructura y no otra (procesos sintácticos). El lector también tiene que comprender el significado de la oración y el mensaje y contenido del texto e integrarlo con sus conocimientos previos (procesos semánticos). En síntesis, comprender un texto implica conocer el significado de cada palabra, entender el significado de las oraciones e interpretar las ideas e intenciones que transmite el texto (García, 1993).

García (1993) identifica cinco niveles de procesamiento lectores:

- procesamiento perceptivo visual: el lector recorre el texto con la mirada, fragmentándolo en partes y deteniéndose en cada parte para pasar luego a la siguiente. La mayor parte del tiempo se consume en las fijaciones para percibir la información. El tiempo de las fijaciones y regresiones depende de las particularidades del texto (tipo de letras, periodicidad de uso de las palabras, regularidad, longitud y complejidad...), las características del lector (destreza lectora, conocimientos del tema...), requerimientos de la tarea (leer los titulares de un periódico o estudiar detalladamente un tema para un examen).

- procesamiento léxico: tiene lugar cuando se identifica previamente cada letra para tener acceso o reconocer la palabra (reconocimiento letra a letra). Luego de la identificar los grafemas se producirían unos procesos fonológicos a través de los cuales se asigna a cada grafema el valor correspondiente en el idioma respectivo a fin de tener la pronunciación de la palabra (“ruta fonológica” de acceso al léxico). Otra ruta de

acceso al léxico tiene lugar cuando se reconoce la palabra como una totalidad, a partir de sus rasgos ortográficos globales. En este caso, en la memoria del lector están disponibles las representaciones de cada palabra conocida, y así podría ser reconocida cuando la vea escrita (“ruta visual” de acceso al léxico). El recorrer una u otra ruta de acceso al léxico depende tanto de las características de la palabra como del lector. Un lector experto podría tener “almacenadas” en su memoria un gran conjunto de palabras que podría reconocer al verlas escritas (ruta visual) y tendría que recurrir al análisis letra a letra (ruta fonológica) cuando las palabras son nuevas o poco frecuentes.

- procesamiento sintáctico: refiere a la capacidad para captar las reglas sintácticas de las oraciones, como el sujeto, el verbo y los complementos, para lo cual es necesario reconocer indicios como la estructura morfológica de las palabras, el orden de las palabras, los signos de puntuación y el contexto en el que se presentan las palabras. El procesamiento sintáctico analiza la forma o estructura de las expresiones u oraciones.

- procesamiento semántico: el reconocimiento de palabras (procesamiento léxico) y los vínculos entre ellas (procesamiento sintáctico) permite extraer su significado: “Y extraer el significado de una oración o texto es construir una representación mental de su contenido conceptual y proposicional” (García, 1993, p. 92). Las proposiciones son las unidades básicas de información en el análisis semántico. Las proposiciones que tienen elementos en común se pueden representar relacionadas, formando redes proposicionales. Dado que una proposición está compuesta por conceptos y las relaciones entre ellos; si esta relación es captada se extrae el significado de la misma.

- procesamiento textual: consiste en comprender la estructura superior del texto. Este proceso es de un elevado nivel de complejidad e incluye cuatro procesos: integración de las proposiciones del texto (al leer se va procesando la información de las

sucesivas expresiones que lo constituyen, hasta formar una representación global del significado), conocimiento del mundo por parte del lector (la información extraída del texto se relaciona con las informaciones y conocimientos que el sujeto posee), inferencias según los esquemas cognitivos que el sujeto posee (el texto no proporciona explícitamente toda la información requerida; el lector debe hacer inferencias para relacionar los diversos elementos del texto y para integrar esta información a sus conocimientos previos), e interpretación del texto (constituye una representación semántica global en la que se integran las informaciones derivadas del mismo texto y las inferencias realizadas por el lector).

García (1993) señala una serie de estrategias para optimizar la comprensión lectora. Las investigaciones indican que existen diferencias en procedimientos y destrezas entre los buenos y malos lectores, y que se consigue mejorar el nivel de comprensión lectora de los sujetos si éstos son entrenados en la práctica de ciertos procedimientos y estrategias.

La comprensión lectora se organiza en niveles: comprensión literal, comprensión inferencial y metacompreensión.

En la comprensión literal, el significado de varias palabras se combina de forma adecuada para formar proposiciones, se basa solo en la información explícitamente reflejada en el texto.

En la comprensión inferencial, el lector, mediante inferencias, construye una representación mental más integrada y esquemática a partir de la información formulada en el texto y de sus conocimientos previos.

En la metacompreensión el lector es consciente y controla su proceso de comprensión. Este proceso se asienta en fijar unas metas para la lectura, verificar si se

están alcanzando y modificarlas eventualmente. Abarca procesos de planificación, supervisión y evaluación.

3.1.2. Factores que influyen en la comprensión

García (1993) señala que hay una serie de factores que influyen en la comprensión. Algunos son:

- Las características del propio texto, su temática y dificultad.
- Los conocimientos previos que sobre el tema tenga el lector.
- El contexto, los propósitos, intenciones, expectativas del lector.
- Los procesos cognitivos, metacognitivos y lingüísticos que el lector realiza durante la lectura.

En este sentido, en esta tesis, se tomarán en cuenta principalmente las características del texto con el cual el lector se enfrentará para construir su aprendizaje. Sin embargo, vale aclarar que estos factores se entrecruzan, no pueden ser considerados como compartimentos estancos. En relación a la lectura de textos académicos, Lobato (2019) ha identificado una serie de dificultades de los estudiantes vinculada a la misma. Según la investigadora, estas dificultades son: confusión de los tipos de géneros discursivos académicos, incapacidad para buscar y reconocer los objetivos autorales, impericia para establecer la idea central o tesis del texto, ineficacia para distinguir y analizar las ideas principales planteadas por el texto, dificultad para determinar las relaciones de intertextualidad de los textos, desconocimiento del vocabulario especializado y disciplinar e inexperiencia en las prácticas y sistemas de la disciplina de su carrera o programa de estudios.

En la Universidad, los estudiantes se encontrarán con textos no escritos para ellos sino para conocedores de las líneas de pensamiento y de las polémicas internas de

cada campo disciplinar. Estos textos serán su herramienta básica para adquirir conocimiento y formarse profesionalmente, por ello leer fluidamente no es suficiente, es necesario realizar un conjunto de operaciones cognitivas como por ejemplo identificar la postura del autor, reconocer las posturas y argumentos de los otros autores citados, identificar la polémica establecida entre unas posiciones y no otras, inferir implicaciones de lo leído sobre otros contextos, entre otras (Carlino, 2003).

3.1.2.1. Las características del texto

Numerosos estudios se han centrado en las características que debiera tener un texto escrito para facilitar la comprensión y en consecuencia el aprendizaje. La especificidad de los textos utilizados en ciencia fue reconocida desde hace tiempo. Al respecto, y tal como lo indica Lemke (1997), se coincide que aprender a hablar ciencia es un proceso similar al del aprendizaje de cualquier lengua extranjera. En el contexto social familiar las personas aprendemos a hablar el lenguaje cotidiano, y sólo en la escuela se nos enseña usualmente a hablar y escribir en lenguaje científico. Éste se caracteriza por el uso de un lenguaje con un vocabulario específico, de elevada precisión, y que entraña grandes dificultades dado que para explicar hechos observables frecuentemente se debe referir a entidades no observables, es decir, a un modelo (Sanmartí, Izquierdo y García, 1999).

Por otro lado, Alexander y Kulikowich (1994), describen algunos textos como faltos de una cohesión y estructura apropiada, lo cual incrementa las demandas de procesamiento para los lectores. Estas investigadoras realizaron un estudio de características de los libros de texto de Física que pueden resultar en la incorrecta o distorsionada comprensión de un tema. Señalan que se pueden caracterizar a estos textos como “bilingües” ya que el lector debe moverse mentalmente entre un sistema

simbólico (matemático y científico) y un sistema lingüístico (Alexander y Kulikowich, 1994).

En relación a las cualidades que debe tener un texto para ser un facilitador de la comprensión y consecuentemente del aprendizaje, Caldeira (2005, p. 169) las enumera en la siguiente lista:

1. No contener incorrección científica alguna.
2. Tener un lenguaje claro y adecuado a los alumnos, con especial atención a las concepciones alternativas.
3. Tener profundidad y amplitud conceptual.
4. Promover el conocimiento sobre la naturaleza del conocimiento científico, en particular a través del uso de la historia de la ciencia.
5. No olvidar las conexiones ciencia – tecnología – sociedad.
6. Contener actividades diversificadas.
7. Propiciar el desmontaje de concepciones alternativas.
8. Contener imágenes con la debida parsimonia, correctas, legibles, y bien integradas en el texto.
9. Integrar las actividades de laboratorio en los temas con los que se relacionan, de acuerdo con una metodología investigadora.
10. Promover el interés del alumno por la lectura y el gusto por el aprendizaje de la ciencia”.

Por su parte, Jetton y Alexander (2000) señalan que la calidad lingüística de un texto es un factor importante en la habilidad de los lectores para aprender de lo que leen. Existen textos que facilitan el aprendizaje y otros, que por su pobre construcción, implican una lectura que demanda gran esfuerzo cognitivo de parte de los lectores. Jetton y Alexander (2000) indican algunos factores que contribuyen a las características

de los mismos, desde el propósito del texto, el público al que está dirigido, la unidad foco, la estructura organizacional, el desarrollo y la validez de las ideas, la expresión estilística y el uso correcto del lenguaje.

Las autoras, en concordancia con García (1993), argumentan que un texto es apropiado para la audiencia cuando se consideran los conocimientos previos de la misma. Estos textos poseen suficiente información relevante, pocos y bien definidos términos técnicos y referentes adecuados. La unidad foco se refiere a la capacidad del escritor para transmitir y mantener el propósito o el objetivo a lo largo del texto. En cuanto a la estructura organizacional, un escritor debe incluir una macro-estructura (es decir, una red de las ideas principales) y una micro-estructura (es decir, detalles de apoyo) que constituyen la base de las ideas principales. Así, las ideas expresadas en forma de palabras, frases y párrafos deben estar bien integradas o vinculadas.

Con relación al desarrollo y validez de las ideas, Jetton y Alexander (2000) señalan que los escritores de textos logran un buen desarrollo ofreciendo explicaciones suficientes, con profundidad y probadas (a veces a través de fuentes primarias o secundarias, que incluyen relatos, citas, diálogos, observaciones y/o principios filosóficos). La validez se refiere a la veracidad o exactitud de las ideas del escritor.

Con respecto a la expresión estilística, según Jetton y Alexander (2000) se evidencia en la claridad, la variación, y la singularidad de las palabras, frases y cláusulas que se utilizan de manera apropiada para el objetivo deseado o el propósito del texto. Asimismo, envuelven las decisiones sobre el uso de palabras que se conocen comúnmente, sobre lo concreto o abstracto del lenguaje, y sobre el uso de una pluralidad de tipos de oraciones y patrones. El uso correcto del lenguaje se relaciona con las características superficiales del texto, incluyendo las convenciones estándares de uso de la lengua como la corrección gramatical y la puntuación adecuada.

Según Jetton y Alexander (2000), el tipo de texto puede también ejercer una influencia significativa sobre la habilidad de los estudiantes para aprender. Las investigadoras sostienen que los géneros son importantes porque se procesan de manera diferente, característica que también fuera advertida por García (1993). Las investigadoras describen las características de los estudiantes en cuanto a sus competencias para el aprendizaje a partir de un texto. Los clasifican en lectores novatos, competentes y expertos. Los lectores novatos son los que tratan de comprender el terreno de un campo desconocido de estudio. Ellos tienen poca experiencia en el dominio, y poco conocimiento sobre los temas tratados en el texto, y según García (1993) les demandaría mucho esfuerzo en llevar a cabo los procesamientos léxicos. Además, según Jetton y Alexander, el conocimiento que tienen es bastante fragmentado y carente de principios. Cuando se encuentran con un concepto nuevo deben comprenderlo con su significado específico y tratar de relacionarlo con otros del dominio. Frecuentemente, los textos no proporcionan una explicación adecuada para la elaboración de tales conceptos, por lo que los estudiantes pueden tener dificultades en discriminar si los conceptos son importantes o relevantes. En estas condiciones no es conveniente que los estudiantes desvíen la lectura hacia cuestiones interesantes, pero triviales. Su falta de conocimiento también afecta a la utilización de estrategias de lectura de manera eficiente y eficaz.

Los lectores competentes son los que cuentan con suficiente conocimiento y estrategias para aprender a partir de la lectura. Tienen un marco más rico y más coherente de conocimientos para guiar su aprendizaje, están más interesados en el tema y son menos propensos que los novatos a centrarse en cuestiones triviales interesantes.

El procesamiento estratégico de los lectores novatos se transforma a medida que se convierten en competentes. Debido a que hay menos barreras de nivel superficial

para la comprensión de la lectura, tales como la falta de cohesión del texto, los lectores competentes no tienen que emplear mayoritariamente estrategias de bajo nivel, tales como variar su velocidad de lectura. En su lugar, pueden emplear estrategias de razonamiento de orden superior.

Los estudiantes expertos en un dominio son los que abordan la tarea de lectura con riqueza de conocimientos y profundo interés en la materia. Su objetivo es hacer un esfuerzo estratégico para obtener una profunda comprensión de la lectura. Son pocos los estudiantes que logran ser expertos, porque las exigencias de los conocimientos, la capacidad estratégica y la motivación para alcanzar ese nivel son elevadas. Los alumnos solo ocasionalmente disponen de suficiente tiempo y recursos para explorar los temas con profundidad. De este modo, los mismos no llegan a ser capaces de construir una base profunda en el conocimiento de principios, y logran poca práctica en la aplicación de las estrategias necesarias para procesar el texto profundamente.

Jetton y Alexander (2000) concluyen en que los estudiantes abordan los textos educativos con conocimientos limitados y fragmentados, aplicando unas pocas estrategias lectoras. Por lo tanto, necesitan una considerable cantidad de estructuras de apoyo que los ayuden en la construcción de un bagaje significativo de conocimiento de los contenidos y también para despertar la motivación personal. Los estudiantes necesitan textos y materiales educativos que transmitan los principios fundamentales y pertinentes de una manera coherente, para que de esta manera puedan reconocer la información importante y evitar los detalles irrelevantes aunque sean muy interesantes.

3.1.2.2. Conocimientos previos del lector y aprendizaje escolar

Es bien sabido que, antes de que ocurran los procesos de instrucción, los estudiantes tienen ideas que les permiten explicar algunos de los fenómenos estudiados

por las ciencias, sin embargo, éstas suelen estar alejadas de las que luego son presentadas en clase. Estos conceptos previos deben ser considerados precisamente por lo que difieren de los contenidos a enseñar y por el modo sistemático y cotidiano en el que son usados por los estudiantes en sus razonamientos. Para un aprendizaje significativo de las ciencias es una condición necesaria tenerlos en cuenta aunque no es suficiente (Campanario y Otero, 2000b).

Las principales ideas previas de los alumnos respecto a temas relacionados con: las propiedades físicas de la materia, cinemática, fuerza, energía, calor y temperatura, electrostática y magnetismo, circuitos eléctricos, y luz y sonido, fueron recopiladas por de Pro (2003). Según este autor, específicamente en lo referente a energía, entre algunas de las ideas previas de los alumnos que dificultan su aprendizaje, se hallarían cuestiones tales como la asociación de la energía con fuerza, pensar que la energía es exclusivamente capacidad de hacer trabajo mecánico, asociar energía a los seres vivos y no a los inertes, asociarla con actividad y velocidad, dotar de propiedades materiales a la energía (se gana, se pierde, se gasta, etc.), dificultades para la comprensión de la conservación y degradación, creer que la transformación energética depende siempre del camino seguido (no se conciben los procesos conservativos).

Estas ideas que los estudiantes traen consigo antes de la formación han sido llamadas de diferentes maneras. Algunos de los términos que la literatura especializada en el aprendizaje y la enseñanza de las Ciencias utilizó en un principio, a veces con claras connotaciones negativas, para referirse a ellas, son: “ideas de los alumnos”, “concepciones erróneas”, “concepciones alternativas”, “preconcepciones”, “errores conceptuales” (Campanario y Otero; 2000; de Pro, 2003; Martínez, 1999; Pozo y Gómez, 2000).

Limón y Carretero (1997) recomiendan referirse a ellas como “ideas previas”. Éstas, a juicio de estos investigadores, se caracterizan por ser incorrectas, desde el punto de vista científico, pero adecuadas desde la postura de los alumnos. Por funcionar como marcos conceptuales que permiten dotar de significado a las palabras que se utilizan en ciencia y desarrollar estrategias para explicar cómo y por qué las cosas se comportan como lo hacen. Las ideas previas de los alumnos forman parte de su conocimiento implícito. Este carácter implícito e inconsciente, y la fuerte dependencia entre las ideas previas y las tareas para identificarlas y/o evaluarlas, dificultan su detección y eventual modificación. Además, son construcciones personales, con un cierto grado de estabilidad o resistencia al cambio, que suelen estar guiadas por la percepción, la experiencia y el conocimiento cotidiano. No todas tienen el mismo nivel de especificidad. El grado de coherencia y solidez es variable, en algunas ocasiones presentan un carácter inconexo y pueden constituir representaciones difusas o aisladas y en otras, formar parte de un modelo mental explicativo.

Además, los resultados de algunas investigaciones destacan el paralelismo entre muchas de las ideas previas de los alumnos y determinadas teorías históricamente superadas, generalmente pre-científicas, que algunos autores han identificado como “obstáculos” (Astolfi, 1994; Carrascosa, 2005). Se indica que son comunes a estudiantes de diferentes medios y edades (Campos, 2009); y se originan de distintas maneras (Pozo, Sanz, Crespo y Limón, 1991). El origen puede ser *sensorial*, *cultural* y *analógico*. Las *concepciones espontáneas* tienen un *origen sensorial*, son las que se elaborarían en el proceso de resolución de problemas cotidianos, utilizando generalmente reglas de inferencia causal para simplificar e interpretar los datos recogidos. Las *representaciones sociales* de *origen cultural* serían aquellas concepciones inducidas por el contexto sociocultural de los alumnos, influenciados

principalmente por el lenguaje y los medios de comunicación. Y, las *concepciones analógicas de origen escolar*, son las que se formarían durante los procesos de instrucción escolar en temas completamente desconocidos por los alumnos, por lo que para poder comprenderlos se verían obligados a activar, por analogía, una concepción potencialmente útil para dar significado a ese dominio (Pozo *et al.*, 1991).

Las ideas previas de los estudiantes que tienen un origen escolar, muy probablemente estén influenciadas por los libros de texto que habitualmente consultan. Al respecto, de Pro (2003, p. 183) afirma: “Muchos errores o lagunas de formación que encontramos en el alumnado se deben a los libros de textos utilizados o a explicaciones recibidas en el ámbito escolar”.

3.2. Encuadre disciplinar

Se asume que los principios son conceptos estructurantes de una disciplina, muy generales, de un gran nivel de abstracción, que suelen subyacer a la organización conceptual de un área, a veces no de manera explícita (Pozo y Gómez, 1998). Custodio y Pietrocola (2004) sostienen que los principios en las ciencias empíricas, se establecen como proposiciones verdaderas dentro de un sistema de hechos que ellos organizan, no son proposiciones demostrables, son guías heurísticas generales en la producción científica. En este sentido, un conjunto de principios puede enseñarnos satisfactoriamente que podemos esperar conocer sobre el mundo físico. Y ejerciendo esta función, un principio puede limitar considerablemente las posibles arbitrariedades dentro de un sistema teórico.

Berenger (2009) sostiene que nociones como energía, masa y fuerzas carecen de definición por el hecho de ser conceptos primitivos, y por ello indefinibles. Los indefinibles por su misma naturaleza no admiten definición. Pero el hecho de no ser

definibles no quiere decir que no se puedan caracterizar. La energía tiene una serie de características: puede ser almacenada, transportada, transformada y transferida, se conserva y se degrada. Todas ellas conforman el significado físico de energía.

En relación a la naturaleza teórica de los conceptos, se coincide con Gellon y colaboradores (2005) sobre la importancia de las nociones teóricas en la construcción de un campo disciplinar.

Las nociones de gen, átomo o energía han sido grandes actos de creación, ideas inventadas para explicar la realidad, pero no derivadas directamente de la simple observación. Las nociones teóricas tienen un rol central dentro del pensamiento científico, no sólo por su alcance explicativo, sino porque además moldean aquello que observamos o juzgamos relevante en una observación (Gellon, Rosenvasser, Furman y Golombek, 2005, p.20).

En la misma comunidad de expertos no existe acuerdo sobre cómo considerar a la energía. Algunos investigadores sostienen que se trata de un "simple objeto matemático". Parafraseando a Richard Feynman:

“Hay un hecho, o si se prefiere una ley, que gobierna todos los fenómenos naturales conocidos hasta la fecha. No se conoce excepción a esta regla, es exacta hasta donde sabemos-. La ley se llama conservación de la energía. Establece que hay cierta cantidad que llamamos energía, que no cambia en los múltiples cambios que ocurre en la naturaleza. Esta es una idea muy abstracta porque es un principio matemático; significa que hay una cantidad numérica que no cambia cuando algo ocurre. No es la descripción de un mecanismo, o de algo concreto; ciertamente es un hecho raro que podamos calcular cierto número y que cuando terminemos de observar que la naturaleza haga sus trucos y calculemos el número otra vez, éste será el mismo [...] Es importante darse cuenta que en la Física actual no sabemos lo que la energía es. No tenemos un modelo de energía formada por pequeñas gotas de tamaño definido. No es así. Sin embargo, hay

fórmulas para calcular cierta cantidad numérica y cuando las sumamos todas siempre encontramos el mismo número". [...] Es algo abstracto en el sentido que no nos informa el mecanismo o las razones para las diversas fórmulas [...]" (Feynman *et al.*, 1987, pág. 4-1, 4-2, 4-3).

Tras la revisión de la literatura vinculada al tema, Doménech y colaboradores (2001, 2007) reunieron en una serie de proposiciones los aspectos a tener en cuenta para lograr una buena comprensión del concepto por parte de los estudiantes de secundaria. En este trabajo se asumirá que la enseñanza de la energía en el nivel básico universitario deberá contemplar las mismas aristas que las que señalan dichos investigadores. Una buena aproximación a su significado requiere enfatizar que no es una especie de fluido, que puede asociarse a la configuración de los sistemas y a las interacciones que estas configuraciones permiten, asimismo que las transformaciones en las configuraciones de los sistemas pueden asociarse a variaciones de energía en el mismo. Por otra parte, debe recalcarse el carácter sistémico y relativo de la energía, dado que no tiene sentido hablar de energía de objetos aislados ni pensarla como una magnitud absoluta. Es preciso vincularla con trabajo y calor, y discutir acerca de sus características de conservación, transformación y degradación.

Por otro lado, en una serie de trabajos, John Jewett (2008a, 2008b, 2008c, 2008d, 2008e), analiza algunas prácticas habituales como por ejemplo la definición ambigua de trabajo, el escaso énfasis en el establecimiento de los sistemas y sus fronteras, y el mal uso del lenguaje por parte de profesores y autores de libros de texto, que repercuten en la conceptualización de la conservación de la energía.

Afirma que la conservación de la energía puede escribirse de manera general como se indica en la ecuación (1).

$$\Delta E_{\text{sistema}} = \sum T \quad (1)$$

En ella T representa la cantidad de energía transferida, por un mecanismo dado, a través de la frontera del sistema establecido. Agrega que dicha ecuación se sustenta conceptualmente en el hecho de que la única forma en que la energía total del sistema $E_{sistema}$ puede cambiar es si la energía cruza la frontera del sistema por uno o más mecanismos descritos por T . El cambio total en la energía del sistema durante un intervalo de tiempo es exactamente igual a la cantidad neta de energía que cruza la frontera del sistema. El signo de suma indica que la energía puede cruzar la frontera por varios mecanismos. Además sugiere, tal como afirma hacerlo él en sus clases de Física, presentar una versión ampliada de la ecuación (1), que se expone en la ecuación (2).

$$\Delta K + \Delta U + \Delta E_{int} = W + Q + T_{MT} + T_{MW} + T_{ER} + T_{ET} \quad (2)$$

Donde el primer miembro de la ecuación muestra tres formas de almacenar energía en el sistema: energía cinética K , energía potencial U , y energía interna E_{int} ; y el cambio en la energía total almacenada en el sistema se encuentra mediante la adición de los tres cambios individuales para estos tipos de almacenamiento de energía.

Luego aclara que la energía cinética K en el lado izquierdo de la ecuación (2), es la suma de la energía cinética de traslación del centro de masas del sistema, la energía cinética de rotación alrededor del centro de masa del sistema, y cualquier energía cinética asociada con movimientos radiales de los miembros del sistema con respecto al centro de masa. La energía potencial U incluye todos los tipos, tales como la gravitacional, eléctrica y elástica. Además, el autor incluye aquí la energía potencial química del combustible o explosivos, y la energía potencial biológica resultante de las comidas ingeridas. La energía interna E_{int} abarca la energía asociada con el movimiento aleatorio de las moléculas (medida por la temperatura) y la energía de enlace entre las

moléculas, asociadas con la fase (sólido, líquido o gas) del sistema. Manifiesta que el segundo miembro de la ecuación (2) expresa la energía transferida a través de la frontera del sistema por seis procesos comunes:

W : el trabajo realizado sobre el sistema por fuerzas externas, cuyos puntos de aplicación se desplazan.

Q : energía transferida a través de la frontera del sistema por calor debido a una diferencia de temperatura entre el sistema y su entorno.

T_{MT} : energía transferida a través de la frontera del sistema por transferencia de materia (tales como la transferencia de combustible en un tanque).

T_{MW} : la energía transferida a través de la frontera de un sistema por las ondas mecánicas, tales como ondas de sonido u ondas sísmicas.

T_{ER} : la energía transferida a través de la frontera de un sistema por radiación electromagnética, como la luz o microondas.

T_{ET} : la energía transferida a través de la frontera de un sistema por transmisión eléctrica desde una batería u otra fuente de energía eléctrica.

Sostiene además que es instructivo discutir esta ecuación y sus términos concretos cuando se introduce por primera vez la energía, dado que los estudiantes están lo suficientemente familiarizados con los seis mecanismos de transferencia de energía presentes en dicha ecuación a partir de sus experiencias cotidianas y pueden comprender rápidamente la naturaleza de dichas transferencias y su significado. Advierte además que es importante identificar el sistema y el intervalo de tiempo de interés. Dado que para algunos sistemas, diferentes opciones de intervalos de tiempo pueden resultar en una ecuación de conservación de la energía diferente.

Por otro lado, el autor reconoce que la discusión de los diversos medios de transferencia de energía asociados con la ecuación de conservación de la energía contribuirá a poner en relieve una debilidad de los libros de texto tradicionales relacionados con el concepto de potencia. Dado que el trabajo es, en ocasiones, el único medio de transferencia de energía que se discute en un enfoque tradicional de Mecánica, se suele indicar que "la potencia es la velocidad a la que se realiza el trabajo" (Jewett, 2008d, p. 112). Enfatiza que esta es una declaración incompleta, que deja a los estudiantes confundidos, por ejemplo en cuestiones relativas a la clasificación de potencia de lámparas y equipos de sonido. Cuando todas las formas de transferencia de energía se discuten en un enfoque global de energía, sin embargo, se puede discutir y dotar de significado a la afirmación correcta que define a la potencia como la velocidad a la cual la energía es transferida a través de la frontera del sistema.

Por su parte, señala que es importante distinguir entre las transferencias de energía a través de la frontera del sistema y las transformaciones de energía dentro del sistema. Identifica tres tipos principales de mecanismos de transformación: trabajo, reacciones químicas y reacciones nucleares. Aclara además que el trabajo en este contexto no es el término W en el segundo miembro, lado derecho, de la ecuación (2). El trabajo en la ecuación (2) es la transferencia de energía a través de la frontera del sistema. El trabajo como un mecanismo de transformación es el trabajo interno, realizado por uno de los componentes del sistema en otro, provocando una transformación de la energía. Ilustra esto presentando ejemplos: considera que dentro del sistema pelota-Tierra, el trabajo realizado por la fuerza gravitacional entre la Tierra y la pelota provoca una transformación de la energía potencial gravitatoria en energía cinética. Al mismo tiempo señala que las reacciones químicas provocan una transformación de la energía potencial química de un sistema a otras formas, tales como energía interna y posiblemente energía

cinética de los fragmentos que vuelan en una explosión. Las reacciones nucleares transforman la energía almacenada en el núcleo en energía cinética de las partículas salientes y energía interna del material que rodea a la reacción. Concluye que, en general, la transformación de la energía provoca una conversión de un tipo de almacenamiento de energía en el sistema en otro tipo.

Indica además que es conveniente discutir la transferencia de energía dentro del sistema, proceso que redistribuye la energía, pero que no cambia la energía total en el sistema. Ilustra esta afirmación considerando el siguiente ejemplo: un sistema puede incluir un objeto caliente y un objeto frío. En un caso como este, puede haber una transferencia de energía por calor y radiación electromagnética desde el objeto caliente al objeto frío. Mientras la energía sólo se está transfiriendo entre los miembros del sistema, este es un sistema aislado y el lado derecho de la ecuación (2) es cero. Las transferencias internas están redistribuyendo la energía de modo que el objeto frío está ganando energía interna, mientras que el objeto caliente está perdiendo energía interna, pero la energía total del sistema permanece constante. Para el autor, un proceso como este no sería evidente en la ecuación de conservación de la energía para el sistema, y por tanto sugiere que el estudio de dicho proceso puede ser explicado por otros principios, como la exigencia de equilibrio térmico de los componentes del sistema. Concluye que las transferencias de energía dentro del sistema a menudo no producen una conversión de un tipo de almacenamiento de energía en el sistema en otro tipo, la energía se redistribuye entre los componentes del sistema, pero permanece en la misma forma.

CAPÍTULO 4: METODOLOGÍA

La metodología que se empleó en la investigación se sitúa en el paradigma cualitativo de investigación, bajo la modalidad de estudio descriptivo de casos múltiples (Stake, 1998; Valles, 1999) utilizando una muestra intencional de libros de texto que se estudiaron empleando técnicas de análisis de contenido (Ander-Egg, 2003, 2004, 2008, 2010; Bardin, 1996).

El análisis de contenido es la técnica de recopilación de datos que permite estudiar el contenido manifiesto de una comunicación, con el propósito de obtener información o tendencias contenidas en la comunicación para estudiar ideas, significados, temas o frases, y no las palabras o estilos con las que éstas se expresan. Según Porta y Silva (2003) el análisis de contenido es una técnica objetiva, sistemática, cualitativa y cuantitativa que trabaja con materiales representativos y exhaustivos. Es objetiva porque emplea procedimientos de análisis que pueden ser repetidos por otras investigaciones de manera que los resultados obtenidos sean susceptibles de ser comparados. Es sistemática pues el análisis exige establecer pautas objetivas. Asimismo es cuantitativa porque mide la frecuencia de aparición de ciertas características del contenido y es cualitativa ya que detecta presencias o ausencias de determinadas características de ese mismo contenido. Es representativa porque elige materiales y la inclusión de categorías que genera información que puede ser contabilizada.

4.1. Selección de la muestra

Para la selección de la muestra se tuvo en cuenta que los libros de textos respondan a los siguientes requerimientos: estar disponible en la Biblioteca de la Facultad de Ciencias Exactas, Químicas y Naturales dependiente de la Universidad Nacional de Misiones; estar citado en la bibliografía recomendada en los Programas

Analíticos de asignaturas -que con diferentes nombres, corresponden al área de Física que se enseña en las distintas carreras de la mencionada institución-; el autor no se repita y su edición sea lo más actual posible. Se seleccionaron diez libros. En la Tabla II se muestra el código asignado y los datos de cada ejemplar, ordenados alfabéticamente según el apellido del primer autor.

Código	Libros de texto analizados
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> . 2da Ed. México: McGraw Hill.
C	Giancoli, D. (2009) <i>Física para ciencias e ingeniería con física moderna. Volumen I</i> . 4ta Ed. México: Pearson Educación.
D	Hewitt, P (2004) <i>Física Conceptual</i> . 9na. Ed. México: Pearson Educación.
E	Resnick, R.; Halliday, D. y Krane, K. (2011). <i>Física. Vol I</i> . 5ta. Ed. México: Grupo Editorial Patria.
F	Serway, R. y Jewett, J. (2009) <i>Física para ciencia e ingeniería con Física Moderna. Vol. 1</i> . 7ma. Ed. México: Cenage Learning Ed.S.A.
G	Tipler, P. (1993) <i>Física. Tomo 1</i> . 3ra. Ed. España: Reverté S.A.
H	Tippens, P. (2011) <i>Física, conceptos y aplicaciones</i> . 7ma. Ed. Perú: McGraw Hill.
I	Wilson, J., Bufa, A. y Lou, B. (2007) <i>Física</i> . 6ta. Ed. México: Pearson Educación.
J	Young, H. y Freedman, R. (2009) <i>Física universitaria. Vol.I</i> . 12da. Ed. México: Pearson Educación.

Tabla II: Libros de textos analizados y código asignado.

4.2. Los recortes realizados

En la presente investigación, a fin de contar con una cantidad manejable de páginas sometidas a revisión, se ha optado por realizar una serie de recortes. Restringir el análisis sólo a las secciones que abordan los conceptos vinculados a trabajo y energía de una partícula implicaría perder gran parte de los resultados hallados: mucha de la información recabada quedaría excluida de la presente tesis dado que el único tipo de energía posible de definir para una partícula es el de energía cinética (Resnick *et al.*, 2011). Por otra parte, debido a la gran dispersión del tema, se optó por dejar fuera de análisis aquellos capítulos o partes de capítulos de mecánica que involucren medios continuos (como por ejemplo los capítulos destinados a fluidos y al estudio de ondas mecánicas) y los capítulos que aborden tópicos vinculados a electricidad, magnetismo y

óptica (que por lo general, se desarrollan en los segundos volúmenes de aquellas obras que cuentan con dos tomos) y termodinámica. En síntesis, la revisión se ha realizado sobre aquellos capítulos de mecánica que abordan trabajo y energía de partículas y de sistemas de partículas.

4. 3. Descripción de la técnica de análisis de contenido

La información obtenida durante el pre-análisis se procesó mediante palabras claves y tablas que posibilitaron identificar con facilidad el ejemplar y la página del mismo de donde fueron extraídas. Para el análisis de contenido se definieron los siguientes parámetros, adaptados de los utilizados por Michinel Machado y D'Alessandro Martínez (1993):

4.3.1. Objetivo del análisis de contenido: reflejar la tendencia que el autor expone o tiene sobre el principio de conservación de la energía y de otros conceptos asociados con éste (análisis de los demás aspectos que hacen a la energía como por ejemplo transformaciones de la energía, transferencia de energía por calor y/o trabajo, y degradación de la energía).

4.3.2. El objeto de análisis: lo constituyen las palabras, frases o párrafos en los que se expresa el principio de conservación de la energía y otros asociados con él, en los capítulos relativos a trabajo y energía de una partícula y de sistemas de partículas en los libros de texto de la muestra seleccionada, tal como se indicara previamente.

4.3.3. La unidad de análisis o fragmento de la comunicación: se tomará como elemento que sirva de base para la investigación frases tales como principio de conservación de la energía y otros que le son afines, como así también los significados (explícitos e implícitos) que expresan.

4.3.4. Las categorías de análisis: determinaron la selección y clasificación de la información buscada. Se consolidaron en una serie de variables que tienen por objeto dar respuesta a los siguientes interrogantes:

¿Cuál es la secuencia de contenidos presentados al abordar el tema? ¿Cómo se conceptualiza la energía? ¿Se explicitan las dificultades para su definición? ¿Cómo se conceptualiza el trabajo? ¿Se menciona el concepto de calor? ¿Cómo se lo conceptualiza? ¿Se atienden las eventuales concepciones alternativas ligadas a energía, trabajo y calor? ¿Se diferencian las diferentes connotaciones que estos términos adquieren en la vida cotidiana y en la ciencia? ¿Cómo y qué tipos de energía se consideran? ¿Cómo se presenta el teorema de trabajo-energía cinética? ¿Cómo se presentan las fuerzas conservativas? ¿Cómo se presenta la conservación de la energía mecánica? ¿Se explicitan las limitaciones y los alcances de los conceptos? ¿Qué ilustraciones se exhiben?, ¿Qué analogías se presentan?, ¿A qué referencias históricas se aluden? y ¿Qué aplicaciones a la vida cotidiana se mencionan?

Para intentar responder a estas preguntas se formularon las variables (V) para el análisis de contenido del material impreso en los libros de texto y que se expone en el apartado siguiente. En el proceso de elaboración se tuvieron en cuenta tanto los criterios de calidad indicados por Caldeira (2005), los referentes teóricos desarrollados en el marco teórico como las sugerencias halladas a partir de la revisión bibliográfica.

4.4. Variables de análisis

Se han definido una serie de variables que permitieron procesar los textos y obtener resultados. Las dos primeras de ellas atienden a aspectos generales vinculados a

temas energéticos. Las otras variables atañen a la conceptualización de los conceptos, las relaciones entre ellos y la conservación de la energía.

V1: Lugar en el que se aborda el estudio de la energía y conceptos afines en la secuencia de temas que conforman el libro de texto

Para el estudio de esta variable se contextualizó el tema teniendo en cuenta los capítulos anteriores y posteriores de la obra; y el orden particular con el cual se desarrolla el tema en la sección correspondiente. Se consideraron aquellas partes de los libros de texto que tienen a la energía, sus atributos y sus vínculos con otros conceptos como objeto de estudio, es decir, como concepto principal del capítulo. Cabe aclarar que la conservación de la energía es un tema transversal dado que se la utiliza como una herramienta para el desarrollo de otros conceptos. Por ejemplo, interviene en la deducción de la ecuación de Bernoulli en el estudio de los fluidos.

V2: Aspectos transversales

Para la delimitación de esta variable se analizaron cuestiones transversales que se encuentran cubiertas en varios capítulos de las obras inspeccionadas y responden a diferentes motivaciones. Las subdimensiones de esta variable se vinculan con los objetivos (1.3.2.5, 1.3.2.6 y 1.3.2.7). Para resaltar el carácter racional del conocimiento científico es necesario conocer los problemas que condujeron a la introducción del concepto de energía y de todo el cuerpo de conocimientos asociado; se intentará caracterizar este aspecto en los libros de texto rastreando referencias históricas. El conocer acerca del estatus epistemológico de los conceptos que se presentan en los libros contribuye a la formación de una imagen de la ciencia como un cuerpo organizado y coherente de conocimientos donde los conceptos se organizan en redes

jerárquicas. Además, muestra que la ciencia busca alcanzar generalizaciones, que en ocasiones se traducen en la integración de campos aparentemente inconexos. Por ellos, se contempló analizar si en los textos se explicita o no la revolución que supuso la unificación de la mecánica y la termodinámica vía el concepto de energía. Por otra parte, la atención a las relaciones Ciencia-Tecnología-Sociedad en los libros de texto posibilitaría el alejamiento de visiones descontextualizadas de la ciencia y el mostrar la relevancia del concepto de energía y sus aplicaciones puede funcionar como un mecanismo de motivación extrínseca de los estudiantes.

V2.1. Presentación de ventajas del tratamiento energético respecto del cinemático y dinámico para el estudio de los movimientos

V2.1.1. Se presenta

V2.1.2. No se presenta

V2.2. Alusión a la revolución que supuso la integración de la mecánica y la termodinámica

V2.2.1. Se presenta

V2.2.2. No se presenta

V2.3. Alusión al estatus epistemológico de los conceptos

V2.3.1. Se presenta

V2.3.2. No se presenta

V2.4. Alusión a relaciones CTS

V2.4.1. Se presenta

V2.4.2. No se presenta

V2.5. Modalidades de recursos complementarios usados para propiciar la comprensión y/o el interés en los lectores

V2.5.1. Utilización de analogías y metáforas

V2.5.1.1. Se utiliza

V2.5.1.2. No se utiliza

V.2.5.2. Inclusión a referencias históricas

V2.5.2.1. Se incluye

V2.5.2.2. No se incluye

V.2.5.3. Inclusión de aplicaciones a la vida cotidiana

V2.5.3.1. Se incluye

V2.5.3.2. No se incluye

V.2.5.4. Inclusión de diagramas de barra que muestran la distribución temporal de las energías cinética y potencial de un sistema

V2.5.4.1. Se incluye

V2.5.4.2. No se incluye

V2.6. Otras cuestiones

V3: Conceptualización de la energía

La definición de esta variable con sus correspondientes sub-variables permitieron caracterizar cómo se conceptualiza la energía (objetivo 1.3.2.1), si se consideran las dificultades que existen para la elaboración de una definición satisfactoria del concepto dada su dificultad intrínseca; si se consideran las eventuales concepciones alternativas del lector y que fueron documentadas desde la investigación educativa vinculada al tema, atendiendo a si se contemplan las confusiones entre energía y otros conceptos (por ejemplo con fuerza o con potencia). También permitió delimitar si en los textos se diferencian, en términos de Solomon (1983), los dos dominios de pensamiento entre los cuales el lector debe desplazarse, es decir, si se contrasta su significado científico del que tiene en la vida cotidiana; asimismo permitió recabar datos que permiten

caracterizar la postura de los autores de los textos en cuanto a aclarar la confusión entre tipos de energía (cinética, potencial, interna, etc.) con fuentes (solar, eólica, biomasa, etc.). Finalmente se prestó atención a la explicitación o no en los textos de algunas propiedades de dicha magnitud: carácter sistémico (no tiene sentido definir la energía de objetos aislados) y su carácter relativo (sólo se pueden determinar variaciones de energía, no valores absolutos), etc.

V3.1. Presentación de definición

V3.1.1. Se presenta

V3.1.2. No se presenta

V3.2. Explicitación de las dificultades para definir

V3.2.1. Se presenta

V3.2.2. No se presenta

V3. 3. Diferenciación de las connotaciones del término

V3.3.1. Se presenta

V3.3.2. No se presenta

V3.4. Aclaración de eventuales confusiones con otros conceptos

V3.4.1. Se presenta

V3.4.2. No se presenta

V3.5. Tipos de energía que se consideran

V 3.5.1. Energía cinética

V 3.5.2. Energía potencial

V3.5.3. Otros tipos de energía

V3.6. Diferenciación entre tipos de energía y sus fuentes

V3.6.1. Se presenta

V3.6.2. No se presenta

V3. 7. Explicitación del carácter relativo de la energía

V3.7.1. Se presenta

V3.7.2. No se presenta

V3. 8. Explicitación del carácter sistémico de la energía

V3.8.1. Se presenta

V3.8.2. No se presenta

V3. 9. Explicitación del sistema físico utilizado en la discusión

V3.9.1. Se presenta

V3.9.2. No se presenta

V4: Conceptualización del trabajo

Con esta variable se pudo caracterizar la manera en que se conceptualiza el trabajo (objetivo 1.3.2.1), detectando si en los libros de texto se consideran las eventuales preconcepciones del lector, principalmente las que se refieren a las confusiones entre trabajo y otros conceptos (por ejemplo confundirlo con esfuerzo o asociarlo con cansancio o desgaste físico); si se diferencia su significado científico del que tiene en la vida cotidiana; si se aclara que las definiciones operacionales de trabajo son válidas en tanto los objetos involucrados puedan ser modelados como partículas puntuales, en caso contrario pueden fallar porque para objetos extensos el desplazamiento involucrado en la definición no está biunívocamente determinado. También permitió caracterizar el tratamiento dado al trabajo cuando no puede ser definido operacionalmente (fricción e intercambios de energía por calor).

V4.1. Presentación de definición y formas de presentación

V4.1.1. Se presenta

V4.1.1.1 En términos de una fuerza que provoca un desplazamiento
(definición operacional)

V4.1.1.2. Cómo mecanismo de transferencia de energía

V4.1.2. No se presenta

V4.2. Diferenciación de las connotaciones del término

V4.2.1. Se presenta

V4.2.2. No se presenta

V4.3. Interpretación del desplazamiento que interviene en la definición

V4.3.1. Del objeto

V4.3.2. Del punto de aplicación de la fuerza

V4.3.3. No se especifica

V4.4. Explicitación de los límites de validez de la definición operacional de
trabajo

V4.4.1. Se explicita

V4.4.2. No se explicita

V4.5. Forma de obtener el trabajo neto

V4.5.1. Como la suma de los trabajos realizados por cada una de las fuerzas

V4.5.2. Como el trabajo realizado por la fuerza neta

V4.6. Explicitación de los límites de validez de la definición del trabajo cuando se
considera el trabajo realizado por la fuerza neta

V4.6.1. Se explicita

V4.6.2. No se explicita

V4.7. Presentación de situaciones donde el trabajo no puede ser definido de
manera operacional

V4.7.1. Explicitando las dificultades para calcularlo

V4.7.2. Sin explicitar las dificultades para calcularlo

V4.7.3. No se presentan

V4.8. Identificación del agente que hace trabajo

V4.8.1. Se identifica

V4.8.2. No se identifica

V4.9. Determinación del sistema sobre el que se realiza trabajo

V4.9.1. Se identifica

V4.9.2. No se identifica

V5: Presentación del teorema de trabajo-energía cinética

Con esta variable se pretende caracterizar como los autores presentan los vínculos entre trabajo y energía y si se contemplan los alcances y limitaciones de este teorema.

Asimismo si se explicita el sistema sobre el cual se aplica el teorema.

V5.1. Deducción a partir de la segunda ley de Newton

V5.1.1. De manera algebraica para una fuerza constante

V5.1.2. De manera integral para una fuerza arbitraria

V5.2. Delimitación del alcance y las limitaciones del teorema

V5.2.1. Se presenta

V5.2.2. No se presenta

V5.3. Explicitación del sistema en el que se aplica el teorema

V5.3.1. Se presenta

V5.4.2. No se presenta

V6: Conceptualización de las fuerzas conservativas

El empleo de las sub categorías definidas para caracterizar el tratamiento de las fuerzas conservativas permitió establecer en cuántos ejemplares se desarrolla el

concepto y en cuántos no; en caso afirmativo, cómo se lo hace (en términos de la independencia del trabajo de la trayectoria seguida por el objeto que se desplaza, como fuerzas cuyo trabajo entre dos puntos depende sólo de la diferencia de los valores de la energía potencial en esos puntos, etc.). También permitió detectar si algunas aseveraciones presentes en los libros de texto propiciarían la confusión frecuente entre los estudiantes de que las fuerzas conservativas no realizan trabajo, etc. y cuáles son los ejemplos típicos que se presentan como representantes de ambas clases de fuerzas.

V 6.1. Presentación de definición y formas de presentación

V6.1.1. Se presenta

V6.1.1.1 El trabajo realizado por una fuerza conservativa sobre un objeto es independiente de la trayectoria seguida por el objeto al desplazarse entre dos puntos

V6.1.1.2 El trabajo realizado por una fuerza conservativa sobre un objeto al desplazarse entre dos puntos es igual al opuesto de la diferencia de los valores de energía potencial entre esos puntos

V6.1.1.3 El trabajo realizado por una fuerza conservativa sobre un objeto al desplazarse en una trayectoria cerrada es nulo

V6.1.1.4 Se explicita la equivalencia de dos o más de estas definiciones

V6.1.2. No se presenta

V 6.2. Presentación de ejemplos típicos

V6.2.1 Ejemplos de fuerzas conservativas

V6.2.1.1 La fuerza de atracción gravitatoria

V6.2.1.2 La fuerza de electrostática

V6.2.1.3 La fuerza de restauración de un resorte

V 6.2.1.4 La fuerza de flotación

V6.2.1.5 Otros ejemplos

V6.2.2 Ejemplos de fuerzas no conservativas

V6.2.2.1 La fuerza de rozamiento

V6.2.1.2 La fuerza de resistencia en fluidos

V6.2.1.3 La fuerza normal

V6.2.1.4 Otros ejemplos

V6.2.3 No se presenta ejemplos

V7: Conservación de la energía

Con esta variable se pretende caracterizar como se presenta la conservación de la energía, si se lo hace como una ley física o como un teorema que se demuestra apelando al teorema de trabajo y energía cinética (Solbes y Tarín, 1998, 2004). 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 inducirían a los estudiantes a considerar erróneamente que ésta tiene una existencia real y los alejaría de la visión que la concibe como una magnitud abstracta (es la que tiene mayor aceptación dentro de la física). La consideración de estos aspectos se plasmó en la formulación de la sub-variable “Forma en que se enuncia la conservación de la energía”. Por otra parte, Bauman (1992b) asegura que comúnmente en los libros de texto el término conservación alude a dos significados. Por un lado, identificar la energía con una propiedad del sistema que no cambia con el tiempo, es decir, la energía vista como una constante del movimiento. Y por el otro, argumentó que al hablar de "leyes de conservación", se pretende comprender que la conservación implica que no hay pérdidas ni creación de energía, y

que, a su vez, la conservación no limita los cambios de energía que puedan ocurrir dentro del sistema. Las indicaciones realizadas por Bauman (1992b) orientaron en la delimitación de la sub-variable “significado que se otorga a la conservación de la energía”, para la cual se consideraron como posibles valores: “como un invariante del sistema” o “como un invariante del sistema y del entorno”. Esto es, la primera opción se correspondería con la formulación $\Delta E_{\text{sistema}} = 0$ y la segunda con $\Delta E_{\text{sistema} + \text{entorno}} = 0$. Finalmente se analizó si se explicita el sistema sobre el cual se aplica la conservación de la energía, sub-variable que se consideró importante dada las indicaciones que se realizaron desde la investigación educativa relativa al tema (Lindsey *et al.*, 2012; Sefton 2004).

V7.1. Presentación de la conservación de la energía

V7.1.1. Como un enunciado general

V7.1.2. Como una generalización del teorema de trabajo y energía cinética

V7.2. Forma en que se enuncia la conservación de la energía

V7.2.1. De manera positiva

V7.2.2. De manera negativa

V7.2. Significado que se otorga a la conservación de la energía

V7.2.1. Como un invariante del sistema

V5.2.2. Como un invariante del sistema y del entorno

V7.4. Explicitación del sistema en el que se aplica la conservación de la energía

V7.3.1. Se presenta

V7.4.2. No se presenta

CAPÍTULO 5. ASPECTOS GENERALES SOBRE EL TRATAMIENTO DE LA ENERGÍA Y TEMAS AFINES

5.1. La secuencia de presentación

Para contextualizar los conceptos vinculados a la energía en los 10 libros de texto analizados, se inspeccionaron sus índices temáticos. Los datos fueron organizados en la Tabla 3 que se encuentra en el Anexo. En ella se registraron en letra negrita los títulos de los capítulos y se sintetizaron los temas cubiertos en aquellos capítulos vinculados estrechamente con los objetivos de la presente investigación. Los temas de interés se encuentran cubiertos en el primer tomo de aquellos ejemplares que constan de dos volúmenes (tres de los libros analizados son tomos únicos: D, H, I). Se observa que en todos se han desarrollado contenidos relativos a mediciones y unidades, cinemática y fuerza antes de comenzar el estudio de energía y trabajo. Luego, el orden de presentación de los temas varía levemente de un ejemplar a otro. En algunos se presenta primero el tema de *momentum* lineal, impulso y conservación del *momentum* y en otros el orden es el inverso.

En líneas generales, la secuencia desarrollada para abordar la conservación de la energía y conceptos afines es similar en todos los libros. Se comienza con la definición operacional de trabajo. Luego, el orden de presentación de los temas se modifica ligeramente de un texto a otro: en algunos el concepto de potencia se introduce inmediatamente después de la definición de trabajo y en otros en secciones más avanzadas del capítulo. En todos, el teorema de trabajo-energía se deriva de la segunda ley de Newton. En la mayoría se desarrolla el concepto de fuerzas conservativas y su relación con la energía potencial, excepto en D y H que no se abordan. Se analizan intercambios energéticos entre un sistema y su entorno ampliando la ecuación de

trabajo-energía mediante la adición de términos para las nuevas situaciones encontradas. Estableciéndose así la ley conservación de la energía, que luego se retoma en los capítulos destinados al estudio de tópicos de termodinámica.

5.2. Aspectos transversales

Se presentan resultados sobre aspectos generales contemplados en los textos analizados, que corresponde a la variable V2 descrita en el capítulo de Metodología.

La información se organiza en la Tabla III.

Sub categorías		Libros de texto											
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	Tot	
V2.1. Presentación de ventajas del tratamiento energético respecto del cinemático y dinámico para el estudio de los movimientos	V2.1.1. Se presenta	x	x	x		x	x	x		x	x	8	
	V2.1.2. No se presenta				x				x			2	
V2.2. Alusión a la revolución que supuso la integración de la mecánica y la termodinámica	V2.1.1. Se presenta			x								1	
	V2.1.2. No se presenta	x	x		x	x	x	x	x	x	x	9	
V2.3. Alusión al estatus epistemológico de los conceptos	V2.1.1. Se presenta	x	x	x		x						4	
	V2.1.2. No se presenta				x		x	x	x	x	x	6	
V2.4. Alusión a relaciones CTS	V2.1.2. Se presenta				x							1	
	V2.1.2. No se presenta	x	x	x		x	x	x	x	x	x	9	
V2.5. Modalidades de recursos complementarios usados para propiciar la comprensión y/o el interés en los lectores	V2.5.1. Utilización de analogías y metáforas	V2.5.1.1 Se utiliza		x				x		x		x	4
		V2.5.1.2. No se utiliza	x		x	x	x		x		x		6
	V2.5.2. Inclusión a referencias históricas	V2.5.2.1. Se incluye	x	x		x	x				x	x	6
		V2.5.2.2. No se incluye			x			x	x	x			4
	V2.5.3. Inclusión de aplicaciones a la vida cotidiana	V2.5.3.1. Se incluye			x	x		x	x		x	x	6
		V2.5.3.2. No se incluye	x	x			x			x			4
	V2.5.4. Inclusión de diagramas de barra que muestran la distribución temporal de las energías cinética y potencial de un sistema	V2.5.4.1. Se incluye		x	x		x	x			x	x	6
		V2.5.4.2. No se incluye	x			x			x	x			4
V2.6. Otras cuestiones						x						1	

Tabla III: Síntesis de resultados. Variable V2: Aspectos transversales sobre los conceptos energéticos.

5.2.1. Acerca de la presentación de las ventajas y limitaciones del tratamiento energético respecto del dinámico y cinemático a la hora de estudiar los movimientos

En ocho de los textos (A, B, C, E, F, G, I, J) se menciona que el enfoque energético ofrece ventajas por sobre el cinemático-dinámico. Se ha observado que la tendencia general es indicar las ventajas del tratamiento energético a través de declaraciones que ponen en relieve su utilidad cuando se desconoce la naturaleza de las fuerzas.

En B, al introducirse el tema, no se hace mención a estas ventajas, sólo se lo presenta como un nuevo enfoque, tal como puede leerse en la siguiente cita: “En los dos capítulos siguientes se introducirán los conceptos de trabajo y energía, los cuales proporcionarán una perspectiva nueva y útil para estudiar el movimiento de los objetos” (Gettys *et al.*, 2005, p. 164). Sin embargo, previo al desarrollo del teorema de trabajo-energía cinética, puede leerse: “Este teorema de la energía cinética proporciona un método para relacionar la magnitud de la velocidad de una partícula con su posición, sin importar lo complicado que sea su movimiento” (Gettys *et al.*, 2005, p. 173). La afirmación realizada por los autores evidencia la valoración positiva que le atribuyen al enfoque energético en la caracterización del movimiento de un objeto. Pero, a la vez, los autores advierten explícitamente al lector de las limitaciones que posee este enfoque:

Con este teorema es posible abordar situaciones que de otra manera requerirían un gran esfuerzo de cálculo. Sin embargo, hay que señalar que la descripción del movimiento que se obtiene por la aplicación del teorema es parcial, porque esencialmente relaciona magnitudes de la velocidad con las posiciones a lo largo de la trayectoria y en esta aproximación no existe referencia explícita al tiempo (Gettys *et al.*, 2005, 174).

En E, se procede de un modo similar pero se amplía el desarrollo de modo que el enfoque energético pueda vincular las magnitudes de la velocidad con el tiempo transcurrido. Esto se evidencia en el siguiente fragmento:

Nuestra meta al analizar un sistema mecánico a menudo es describir el movimiento de una partícula en función del tiempo. En los capítulos 3 y 4 explicamos cómo resolver este problema aplicando las leyes de Newton, las cuales en una dimensión permiten encontrar la posición y la velocidad como funciones del tiempo. En el presente capítulo hemos resuelto muchos de los mismos problemas empleando la conservación de la energía, que puede darnos la velocidad de los cuerpos de un sistema en una configuración distinta a la inicial. Estos dos métodos –el de la dinámica o de fuerza y el de energía- producen resultados idénticos, pero el segundo, tal como lo hemos venido aplicando, no nos da la posición ni la velocidad de los cuerpos en el sistema en función del tiempo. En esta sección explicaremos cómo el método de energía puede extenderse para que suministre esa información (Resnick *et al.*, 2011, p. 266).

Una advertencia similar, pero menos explícita se realiza en J. En dicho ejemplar, en un cuadro complementario del texto principal y bajo el título “Estrategia para resolver problemas 7.1. Problemas donde se utiliza energía mecánica I”, puede leerse entre líneas, que el enfoque energético no es el medio más económico para resolver problemas en el que deban encontrarse magnitudes en función del tiempo transcurrido:

IDENTIFICAR los conceptos pertinentes: Decida si conviene resolver el problema con métodos de energía, usando $\sum \vec{F} = m\vec{a}$ directamente, o con una combinación de estrategias. El enfoque de energía es muy útil si el problema implica movimiento con fuerzas variables, en una trayectoria curva (que veremos más adelante) o ambas cuestiones. Si el problema implica tiempo transcurrido, el

enfoque de energía no suele ser el mejor porque en él no interviene el tiempo directamente [...] (Young y Freedman, 2009, p. 217).

Por otro lado, en I, si bien no se dice que el enfoque energético es más ventajoso que el dinámico, en un recuadro titulado sugerencia para resolver problemas, los autores afirman que los conceptos de trabajo y energía son útiles y poderosos:

Sugerencia para resolver problemas

En el ejemplo 5.5 utilizamos consideraciones de trabajo-energía para calcular la rapidez.

Podríamos haberlo hecho de otra manera: calculando primero la aceleración con

$a = \frac{F}{m}$, y luego usando la ecuación de cinemática para calcular $v^2 = v_0^2 + 2ax$

(donde $x = d = 0.50$ m). Lo importante es que muchos problemas se resuelven de diferentes maneras, y a menudo la clave del éxito consiste en encontrar la forma más rápida y eficiente para hacerlo. Al seguir estudiando la energía, veremos lo útiles y potentes que son los conceptos de trabajo y energía, como nociones teóricas y también como herramientas prácticas para resolver muchos tipos de problemas (Wilson *et al.*, 2007, p.151).

En tanto que en A se resuelve un problema en el que se muestra que la conservación de la energía aplicada a una partícula que se mueve en la dirección del eje x bajo una fuerza constante, conduce a las mismas ecuaciones de movimiento que si se hubiera seguido un enfoque cinemático. Luego se afirma: “Este problema es suficientemente simple para ser resuelto fácilmente con los métodos del capítulo 5. Lo hemos presentado aquí principalmente como una ilustración de las técnicas para resolver la ecuación del movimiento usando el principio de la energía” (Alonso y Finn, 1976, p. 222). Y, en la última sección del capítulo, se subraya el papel protagónico de los conceptos de fuerza y energía en la descripción de los movimientos que ocurren en la naturaleza. Así puede leerse:

En este capítulo hemos visto cómo podemos usar el concepto de energía de manera muy efectiva para resolver ciertos problemas dinámicos de una partícula cuando conocemos la fuerza en función de la posición. Esta es una de las razones básicas para introducir el concepto de energía en física.

[...]Nuestra experiencia inmediata nos lleva a reconocer que los cuerpos a nuestro alrededor están en movimiento. Atribuimos dichos movimientos a las interacciones entre los cuerpos, y lo describiremos por medio de los conceptos de fuerza y energía. Tales conceptos tienen un solo propósito: proporcionar métodos útiles para analizar y predecir los movimientos que observamos (Alonso y Finn, 1976, p. 232).

El poder explicativo que posee el tratamiento energético en una amplia gama de fenómenos, y que trasciende lo estrictamente ligado a la mecánica, queda algo opacado por la preeminencia que se le otorga para describir movimientos. Estas características podrían propiciar el afianzamiento de ideas alternativas en los lectores tal como lo indicaron varios investigadores que advierten que los niños utilizan marcos conceptuales alternativos que los lleva a identificar energía con movimiento (Duit, 1981a, 1981b, 1984; Solomon 1985, Trumper 1997).

Los siguientes fragmentos, extraídos de diferentes libros, contribuyen a caracterizar la opinión de los autores acerca de las ventajas del tratamiento energético para estudiar movimientos. En C puede leerse:

Las leyes de conservación de la energía y la cantidad de movimiento son especialmente valiosas al tratar con sistemas de muchos objetos, donde una consideración detallada de las fuerzas implícitas sería difícil o imposible. Estas leyes son aplicables a una amplia gama de fenómenos, incluyendo los mundos atómico y subatómico, donde no son aplicables las leyes de Newton (Giancoli, 2009, p. 163).

El autor utiliza la redundancia como un recurso lingüístico para resaltar las ideas que considera importantes. A lo largo de toda la presentación que realiza (no sólo en la parte principal del texto sino también en los ejemplos e imágenes) pone énfasis en señalar las ventajas del tratamiento energético.

La ley de la conservación de la energía nos brinda también otra herramienta u otro enfoque para resolver problemas. Hay muchas situaciones en las cuales un análisis basado en las leyes de Newton sería difícil o imposible, ya que quizá las fuerzas no se conozcan o no estén accesibles para una medición. Sin embargo, tales situaciones a menudo pueden tratarse con la ley de la conservación de la energía (Giancoli, 2009, p. 184).

Es posible que en ocasiones usted se pregunte si un problema debe abordarse a partir del trabajo o la energía, o más bien es conveniente utilizar las leyes de Newton. Como un lineamiento general, puede decirse que si las fuerzas involucradas son constantes, cualquier enfoque tendrá éxito. Si las fuerzas no son constantes y/o la trayectoria no es simple, la energía es el enfoque más seguro (Giancoli, 2009, p. 192).

Luego de presentar la resolución de un problema que involucra el movimiento de un carro en una montaña rusa, se analiza la similitud en la formulación matemática de este con un problema que involucra la caída libre de una piedra. El autor, nuevamente resalta la simplicidad del tratamiento energético de la siguiente manera:

La matemática del ejemplo 8-4 es casi la misma que la del ejemplo 8-3. No obstante, hay una diferencia importante entre ellos. En el ejemplo 8-3 el movimiento es sólo vertical y podría haberse resuelto usando fuerza, aceleración y ecuaciones cinemáticas (ecuaciones 2-12). Pero con la montaña rusa, donde el movimiento no es vertical, no podríamos haber usado las ecuaciones 2-12 porque a no es constante sobre las vías curvadas [*sic*]; la conservación de la energía nos dio rápidamente la respuesta (Giancoli, 2009, p. 192).

En G también se encontraron párrafos que enfatizan las ventajas del tratamiento energético y su utilidad. Por ejemplo:

Estos nuevos conceptos nos proporcionan métodos potentes para resolver una amplia clase de problemas. Muchos de los problemas del final de este capítulo podrían resolverse usando los conceptos y los métodos desarrollados en los capítulos previos. Sin embargo, es importante que resista la tentación de hacerlo de esta forma. Los conceptos y los métodos de este capítulo se continúan desarrollando en el capítulo 7 (Tipler, 1993, p.142).

Unas páginas más adelante el autor insiste con este aspecto al presentar la resolución de un problema que involucra un péndulo. En dicho planteo se afirma:

Éste también se puede determinar usando directamente las leyes de Newton (ver problema 7.92), pero esta resolución es más difícil porque la componente de la aceleración tangencial al círculo cambia con la posición, y por lo tanto con el tiempo, de manera que no se pueden aplicar las fórmulas para aceleración constante (Tipler, 1993, p. 175).

En J, los autores siguen la misma impronta. Son redundantes en este aspecto, principalmente en los problemas resueltos. Se citarán solamente algunos fragmentos representativos:

En física el trabajo tiene una definición mucho más precisa. Al utilizar esa definición, descubriremos que, en cualquier movimiento, por complicado que sea, el trabajo total realizado sobre una partícula por todas las fuerzas que actúan sobre ella es igual al cambio en su energía cinética: una cantidad relacionada con la rapidez de la partícula. Esta relación se cumple aún cuando dichas fuerzas no sean constantes, que es una situación que puede ser difícil o imposible de manejar con las técnicas que estudiamos en los capítulos 4 y 5 (Young y Freedman, 2009, p. 182).

Observe que tuvimos que usar tanto el enfoque de energía como la segunda ley de Newton para resolver este problema: la conservación de energía nos dio la rapidez, y $\sum \vec{F} = m\vec{a}$ nos dio la fuerza normal. En cada parte del problema, usamos la técnica que más fácilmente nos lleva a la respuesta (Young y Freedman, 2009, p. 220).

El movimiento de Morton está determinado por la segunda ley de Newton, $\sum \vec{F} = m\vec{a}$. Pero sería muy difícil aplicar esta ley directamente al problema, porque las fuerzas normal y de fricción, así como la aceleración, están cambiando continuamente de magnitud y dirección conforme Morton baja. El enfoque de energía, en cambio, relaciona los movimientos en el tope y la base de la rampa, sin implicar los pormenores de lo que sucede en medio. Muchos problemas son fáciles si usamos consideraciones de energía, y muy complejos, si intentamos usar directamente las leyes de Newton (Young y Freedman, 2009, p. 221).

Como la fuerza del resorte varía con la posición, este problema no puede resolverse con las ecuaciones para movimiento con aceleración constante; ahora usaremos la idea de que, al comenzar a moverse el deslizador, la energía potencial elástica se convierte en energía cinética. (El deslizador permanece a la misma altura durante todo el movimiento, así que la energía potencial gravitacional no es importante) (Young y Freedman, 2009, p. 225).

En el párrafo anterior, se observan dos cuestiones. Por un lado, los autores resaltan que el enfoque energético es más apropiado dada la imposibilidad de usar las ecuaciones cinemáticas que involucran aceleración constante. Por otro lado, queda implícito que sólo los cambios de energía son importantes (cuestión a la que se volverá en el capítulo siguiente de esta tesis) dado que los autores afirman que la energía potencial gravitacional no es importante porque el riel se encuentra siempre a la misma altura.

Las potencialidades del enfoque energético también son consideradas en F:
Sin embargo algunos problemas, que podrían resolverse teóricamente con las leyes de Newton, son muy difíciles en la práctica, pero es posible simplificarlos con un planteamiento diferente. Aquí, y en los capítulos siguientes, se investigará este nuevo planteamiento que incluirá definiciones de cantidades que tal vez no le sean familiares (Serway y Jewett, 2007, p. 163).

Y unas líneas más adelante, en este mismo libro, se insiste con subrayar el poder de los conceptos energéticos, así se afirma: “Además, en capítulos posteriores del libro la aproximación de energía permite comprender fenómenos térmicos y eléctricos, para los que las leyes de Newton no son útiles” (Serway y Jewett, 2007, p. 164).

5.2.2. Acerca de si se resalta la revolución que supuso la integración de la mecánica y la termodinámica, inicialmente consideradas ciencias inconexas

En general, en los libros inspeccionados no se contemplan aspectos referentes a la revolución que significó la integración de la termodinámica y de la mecánica; aun cuando varios investigadores señalan la necesidad de considerar las leyes de la termodinámica en la resolución de problemas mecánicos en los que intervienen fuerzas disipativas (Arons, 1989; Mallinckrodt y Leff, 1992; Sherwood y Bernard, 1984).

Por ejemplo, en C se encontró una referencia a que la ley de conservación de la energía no pudo formularse hasta que se identificó el calor con una transferencia de energía. Sin embargo, en los problemas que se presentan, no se realiza una vinculación entre ambas ramas de la Física. En dicho ejemplar puede leerse:

Históricamente, la presencia de las fuerzas disipativas impidió la formulación de una ley de la conservación de la energía completa hasta bien entrado el siglo XIX. No fue sino hasta entonces que el calor, que siempre se produce en presencia de la fricción (frote sus manos entre sí), se interpretó como una forma de energía. Los

estudios cuantitativos realizados en el siglo XIX (capítulo 19) demostraron que si el calor se considera como una transferencia de energía (llamada a veces energía térmica), entonces se conserva la energía total en cualquier proceso (Giancoli, 2009, p. 196).

Si bien no se encontraron alusiones a la revolución que supuso la integración de la mecánica y de la termodinámica, en dos libros (A, E), los autores presentan la primera ley de la termodinámica en los capítulos de mecánica destinados al estudio de cuestiones energéticas, haciendo eco de algunas sugerencias emanadas desde la investigación. En A, se presenta en un apartado titulado “Reformulación del principio de conservación de la energía para los sistemas de muchas partículas”. Al finalizar dicha sección se aclara:

Los enunciados relativos a las ecs. (9.52) y (9.53) constituyen lo que se llama la *primera ley de la termodinámica*, que es simplemente la ley de conservación de la energía aplicada a sistemas de gran número de partículas, con el trabajo externo convenientemente dividido en dos términos estadísticos, uno de ellos todavía llamado trabajo y el otro llamado calor. Lo que se ha dicho es suficiente para que el estudiante comprenda el significado de los conceptos de calor y temperatura tal como se usarán en los capítulos siguientes y por ello no proseguiremos por el momento con estos asuntos termodinámicos. (Ver el tercer volumen de esta serie). (Alonso y Finn, 1976, p. 275).

En E se consideran sistemas mecánicos cuya resolución invoca tanto la ecuación del centro de masa o pseudo-trabajo (una descripción de este concepto se realiza en el marco teórico de esta tesis) como la primera ley de la termodinámica. Por ejemplo, el movimiento de una atleta que salta, el de dos patinadores que se empujan mutuamente pero uno de ellos permanece fijo apoyado sobre una pared, etc. Es decir, sistemas que

involucran objetos extensos que no pueden ser tratados como partículas. En tanto que en A los ejemplos versan sobre el movimiento de las moléculas en un gas.

5.2.3. Acerca de si se contempla el estatus epistemológico de los conceptos que se desarrollan

En la mayoría de los textos no se realiza mención alguna sobre este aspecto. El único ejemplar que contempla explícitamente esta faceta es B, y es el que destina mayor cantidad de espacios de la obra a presentar información que permita la reflexión sobre estas cuestiones. Por ejemplo, en el primero de los capítulos destinados al estudio de la rotación, los autores proponen la reflexión sobre el uso de los modelos en Física, señalando que “para un físico un modelo es una idealización mental gráfica de un sistema físico o un fenómeno natural” (Gettys *et al.*, 2005, p. 286). En dicho apartado vuelven sobre algunos de los temas ya abordados e indican cuáles fueron las hipótesis y simplificaciones que se hicieron para encarar el estudio de los mismos. Este libro, a lo largo de todos los capítulos, sigue la impronta de incluir aspectos vinculados a la naturaleza de la ciencia en todas las secciones con las que se cierra el capítulo. Interesa, particularmente, citar aquellas más estrechamente vinculadas con la energía. Por ejemplo, en una sección titulada “Comentario: ¿Qué es una ley?” y qué se cita seguidamente, los autores realizan afirmaciones explícitas sobre el carácter provisorio del conocimiento y sobre cómo se produce la evolución de una ciencia. En dicha sección (que forma parte del capítulo en que se aborda la conservación de la energía), los autores tratan el tema de la naturaleza epistemológica de los conceptos, diferenciando cómo se estructuran las teorías físicas y matemáticas y cómo se aborda la cuestión de la verdad en el ámbito de cada una de ellas. La siguiente transcripción expone la postura de los autores.

En primer lugar, una ley es una afirmación fundamental que ayuda a formar las bases de una estructura conceptual. En este sentido, una ley es algo similar a un postulado de la geometría plana. En geometría se acepta un postulado sin ninguna prueba, y se demuestran las consecuencias (demostración de los teoremas) que se derivan de un conjunto de postulados. De manera similar, en mecánica, la tercera ley de Newton se acepta como una afirmación fundamental de la forma en que las fuerzas actúan. La tercera ley de Newton se utiliza como un postulado.

Sin embargo, hay una diferencia importante entre un postulado de la geometría y una ley de la física. Un postulado matemático no está sujeto a posterior comprobación. Esto es, su certidumbre o validez no se pone en duda: no puede ser comprobado, porque las matemáticas son una abstracción pura y no poseen una base física. Una ley en física posee una base en la experiencia y por tanto siempre está sujeta a comprobación. Esto es, su verdad se sustenta en nuestra insistencia en creer que la ley y sus consecuencias deben estar de acuerdo con los experimentos. Si un experimento muestra que un nuevo efecto es contrario a la ley, se abandona esa ley, o al menos se modifica para incluir ese nuevo efecto. Así, en la física las leyes no son inmutables; deben cambiar en respuesta al descubrimiento de nuevos fenómenos. Por ejemplo, Einstein modificó la ley de la conservación de la energía que hasta entonces no era considerada como tal (el capítulo 38 describe esta ampliación). Al efectuar esto, Einstein unió lo que hasta entonces habían sido dos leyes de conservación separadas, la ley de conservación de la energía y la ley de conservación de la masa, en una sola ley más general (Gettys *et al.*, 2005, p. 205).

Por otra parte, en cuatro ejemplares (A, C, E, J) se insinúa algo sobre la naturaleza de los conceptos científicos, sin embargo las menciones que se realizan son menos explícitas que las encontradas en B. Por ejemplo, en tres de las obras (A, C, J) se han

encontrado comentarios al respecto en las secciones que analizan el caso especial de la fuerza que ejerce un resorte. Así puede leerse:

La observación de que el alargamiento (no excesivo) es proporcional a la fuerza fue hecha por Robert Hooke en 1678 y se conoce como **ley de Hooke**; sin embargo, no debería llamarse “ley”, pues es una afirmación acerca de un dispositivo específico y no una ley fundamental de la naturaleza (Young y Freedman, 2009, p. 193).

Una advertencia similar se realiza en C, pero en otro capítulo que no es objeto de análisis de esta tesis. Así, cuando se desarrolla el trabajo realizado por una fuerza variable, se muestra como ejemplo el caso de la fuerza ejercida por un resorte. En este contexto, el autor denomina ley de Hooke a la relación entre fuerza y deformación, sin hacer aclaración alguna sobre la naturaleza epistemológica de la misma. Sin embargo, remite al lector a otro capítulo del libro en el que se abordan conceptos relacionados con el equilibrio estático, elasticidad y fractura, en el que se retoma y amplía la información sobre esta relación y, en una nota al pie, se aclara que en realidad no corresponde a una ley. A continuación se transcriben por un lado, la primera mención que se realiza sobre la ley de Hooke en el contexto energético y por el otro, el contenido de la nota al pie antes mencionada. Así puede leerse:

La ecuación 7-8 se conoce como la **ecuación de resorte** y también como la **ley de Hooke**, y es exacta para resortes siempre que x no sea demasiado grande comparada con la longitud natural (véase la sección 12-4) y no ocurra ninguna deformación permanente (Giancoli, 2009, p. 170).

El término “ley” aplicado a esta relación no es realmente adecuado, ya que se trata sólo de una aproximación y además se refiere sólo a un conjunto limitado de fenómenos. La mayoría de los físicos prefieren reservar la palabra “ley” para aquellas relaciones que son más profundas, de mayor alcance y precisas, como las

leyes de Newton del movimiento o las leyes de la conservación de la energía (Giancoli, 2009, p. 318).

En cambio en A, a esta relación no se la designa con ningún nombre pero si se especifica su naturaleza empírica: “Se ha verificado experimentalmente que para extender un resorte una pequeña distancia x sin aceleración, se necesita una fuerza proporcional a la distancia: $F=kx$. Si el resorte es extendido sin aceleración, él reacciona con una fuerza igual y opuesta” (Alonso y Finn, 1976, p. 208). Siguiendo con el caso particular de la relación entre la fuerza del resorte y su deformación, en la mayoría de los otros textos (B, E, F, G) se la enuncia con el nombre de ley de Hooke. Sin embargo, no se hace comentario alguno sobre el hecho de que en realidad no es una ley fundamental de la Física, sino que se trata de una generalización realizada en base a resultados empíricos. A continuación se ha transcritto algunas de las expresiones habituales encontradas. Por ejemplo: “...la fuerza que se requiere para estirar o comprimir un resorte es proporcional a la cantidad de estiramiento o compresión x . Esta ley de fuerza para resortes se conoce como **ley de Hooke**” (Serway y Jewett, 2007, p. 171); “En una dimensión, podemos escribir en la siguiente expresión el componente x de la fuerza que el resorte ejerce sobre el cuerpo unido a él: $F_s=-kx$, que se conoce como *ley de Hooke*” (Resnick *et al.*, 2011, p. 236), “...sujeto a un muelle horizontal que obedece la ley de Hooke y ejerce una fuerza $\mathbf{F}=-kx\mathbf{i}$ [...]” (Tipler, 1993, p. 148).

En I, de manera similar a lo encontrado en A, se presenta la expresión matemática que modela la fuerza del resorte como función del desplazamiento pero sin utilizar ningún nombre para designarla. Pero a diferencia de A, no se realiza mención alguna sobre su naturaleza empírica. En D y H no se aborda este tema.

En algunos textos, en lo que respecta específicamente a la ley de conservación de la energía, los autores contemplan esta faceta. Por ejemplo, en B, comentan al respecto:

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).

Algo similar puede encontrarse en A, en la sección titulada “Conservación de la energía de un sistema de partículas” incluida en el capítulo Dinámica de un sistema de partículas, los autores dejan entrever cuál es el rol que le asignan a la conservación de la energía. De lo expuesto y que se transcribe a continuación, se puede inferir que asumen que el estatus de la misma trasciende el de teorema, aun cuando en casos particulares se puede derivar de otros conceptos considerados como más primitivos. Así puede leerse:

Este importante enunciado se llama la *ley de conservación de la energía*. Hasta ahora la ley ha aparecido como una consecuencia del principio de conservación del momentum y la suposición de que las fuerzas interiores son conservativas. Sin embargo esta ley parece ser verdadera en todos los procesos que observamos en el universo, y por lo tanto se le concede validez general más allá de las suposiciones especiales bajo las cuales las hemos derivado (Alonso y Finn, 1976, p. 258).

En C, el autor también menciona el carácter experimental de esta ley y además advierte que para el caso de cuerpos que pueden ser tratados como partículas, dicha ley se deriva de las leyes de Newton (si bien no lo dice expresamente, implícitamente le está otorgando el carácter de teorema). Paralelamente afirma que el rango de validez de la ley de conservación de la energía es más amplio que el de las leyes de Newton, tal como puede leerse seguidamente:

Se ha encontrado experimentalmente que la energía total E siempre permanece constante. Es decir, el cambio en la energía total, cinética más potencial más todas las otras formas de energía, es igual a cero:

$$\Delta K + \Delta U + [\text{cambios en todas las otras formas de energía}] = 0 \quad (8-14)$$

Éste es uno de los principios más importantes de la física. Se llama **ley de la conservación de la energía** y puede enunciarse como sigue:

La energía total no aumenta ni disminuye en ningún proceso. La energía puede transformarse de una forma a otra, y transferirse de un objeto a otro; pero la cantidad total permanecerá constante.

Para sistemas mecánicos conservativos, esta ley se puede derivar de las leyes de Newton (sección 8-3) y es entonces equivalente a ellas. En su generalidad plena, sin embargo, la validez de la ley de la conservación de la energía reside en la observación experimental.

Y aun cuando se haya encontrado que las leyes de Newton fallan en el mundo submicroscópico del átomo, la ley de la conservación de la energía es válida ahí y en cualquier situación experimental probada hasta ahora (Giancoli, 2009, pp. 196-197).

En tanto que en E se encontró sólo una frase que permite inferir la posición de los autores acerca del estatus epistemológico de la conservación de la energía. La misma se transcribe a continuación: “Igual que la conservación del *momentum* lineal o angular, la conservación de la energía es una ley de la naturaleza que no han contradicho ni los experimentos de laboratorio ni la observación” (Resnick *et al.*, 2011, p. 284).

Dado el poco espacio que se destina en J a estas cuestiones y en virtud de la ausencia de comentarios que guíen al lector acerca de si la conservación de la energía es una ley o un teorema, se ha decidido por incluir a este ejemplar entre aquellos que no explicitan la naturaleza epistemológica de los conceptos.

5.2.4. Acerca de la alusión a relaciones Ciencia, Tecnología, Sociedad y Ambiente

En la mayoría de los libros inspeccionados no se mencionan cuestiones vinculadas a las relaciones entre Ciencia, Tecnología, Sociedad y Ambiente (CTSA). Esta situación coincide con los resultados reportados por investigaciones realizadas sobre libros de texto de otros niveles (García, 2008; García y Criado, 2008; de Pro y de Pro, 2011; Martín *et al.*, 2013). Solamente en D, se encontraron alusiones manifiestas a las mismas. En tanto que en H, si bien no se hace referencia explícita a estos aspectos, se perfila una relación entre la ciencia y la tecnología cuando el autor afirma: “En la actualidad, las industrias centran su interés principal en el uso y el control de la energía, por lo que es esencial comprender a fondo los conceptos de trabajo, energía y potencia” (Tippens, 2009, p. 158). Algo similar puede inferirse en la resolución de un problema que involucra una montaña rusa propuesta en G, y sobre el cual se dará una descripción con mayores detalles en otro apartado de este capítulo. Sin embargo, dado que este aspecto tiene un tratamiento poco claro y sumamente escueto, se optó por incluir a estos ejemplares entre aquellos que no consideran las relaciones CTSA.

Tal como se indicó previamente, en D se contempla explícitamente estas relaciones. De la lectura de los párrafos que se transcriben a continuación, puede notarse la preocupación del autor por estas cuestiones.

La energía geotérmica, como la solar, la eólica e hidráulica, es amigable al ambiente. Otros métodos de obtención de energía tienen consecuencias graves para el ambiente. Aunque la energía nuclear no contamina la atmósfera, es muy problemática por los desechos nucleares que genera. Por otra parte, la combustión de materiales fósiles causa mayores concentraciones atmosféricas de dióxido de carbono, dióxido de azufre y otros contaminantes.

A medida que aumenta la población mundial, también aumentan nuestras necesidades de energía. Con las reglas de la física como guía, los tecnólogos están

investigando nuevas formas y más limpias de desarrollar fuentes de energía. El sentido común indica que a medida que se desarrollen, debemos continuar optimizando las fuentes actuales y usar con eficiencia y sabiduría lo que consumimos (Hewitt, 2004, pp. 118-119).

5.2.5 Acerca de las modalidades de recursos complementarios usados para propiciar la comprensión y/o el interés en los lectores

5.2.5.1. Acerca de la utilización de analogías

En algunos libros de texto (B, H, J) pueden leerse analogías que los autores intentan establecer entre temas conocidos por los estudiantes (manejo de dinero en la mayoría de los casos) y la conservación de la energía. Sin embargo, éstas se establecen a nivel superficial sin explicitar al lector cuáles son los elementos correspondientes, ni los alcances y limitaciones de las mismas. Y, en muchas ocasiones, estos intentos de comparar dos estructuras conceptuales caen en un reduccionismo importante, pareciera que para los autores es suficiente con utilizar el adverbio “como” para que el lector realice las inferencias necesarias que expongan las similitudes o diferencias entre ambos dominios conceptuales. Características similares revisten las analogías empleadas en la enseñanza de otros temas de Física (Giacosa *et al.*, 2012) y que también fueron reportadas para libros de texto de otro nivel educativo (Silva y Martins, 2010; da Rosa, Cótica y Henrique, 2016)

Prácticamente todas las analogías halladas tienen relación con el manejo de dinero. Por ejemplo en J puede leerse: “Es como sacar dinero del banco (reducir U_{grav}) y gastarlo (realizar trabajo positivo)” (Young y Freedman, 2009, p. 215); “Una característica fundamental de las fuerzas conservativas es que su trabajo siempre es *reversible*. Algo que depositamos en el “banco” de energía puede retirarse después sin

pérdida” (Young y Freedman, 2009, p. 228). Otros ejemplos representativos se citan a continuación:

La conservación de la energía es algo similar a la conservación de ahorro de dinero. La forma o naturaleza del ahorro puede cambiar de dinero en una cuenta bancaria a dinero en una alcancía, pero la cantidad total de dinero permanece constante (Gettys *et al.*, 2005, p. 188).

Es útil considerar la conservación de la energía mecánica como un proceso de contabilidad, en el que se lleva un recuento de lo que pasa a la energía de un sistema desde el principio hasta el fin. Suponga que retira \$1000 del banco y luego paga \$400 por un pasaje de avión a Nueva York. Le quedarían \$600 para gastar en diversiones. Los \$400 ya se gastaron y no pueden reembolsarse, pero deben tenerse en cuenta. Ahora considere un trineo en la cima de una colina y suponga una energía total de 1000 J. Si 400 J de energía se pierden a causa de las fuerzas de fricción, el trineo llegaría al fondo con una energía de 600 J para usarlos en velocidad. No es posible recobrar los 400 J perdidos en trabajo contra las fuerzas de fricción, así que la energía total E es menor que la energía total inicial E_0 . Además, aún hay que considerar el calor y otras pérdidas disipadoras en el proceso. Podríamos escribir la afirmación siguiente:

Energía total inicial = energía total final + pérdida debida a la fricción

$$U_0 + K_0 = U_f + K_f + |\text{trabajo contra la fricción}| \quad (8.9)$$

El trabajo realizado por las fuerzas de fricción siempre es negativo, de modo que hemos empleado las rayas verticales de valor absoluto para indicar que estamos considerando el valor positivo de la pérdida de energía (Tippens, 2007, p 168).

En teoría la ecuación de conservación de energía no es más complicada que llevar cuentas sanas en su chequera. Si su cuenta es el sistema, el cambio en el saldo para un mes determinado es la suma de todas las transferencias: depósitos, retiros,

comisiones, intereses y cheques expedidos. ¡Puede resultarle útil pensar en la energía como la *moneda de la naturaleza*! (Serway y Jewett, 2009, p. 197).

En algunos textos, se recurre a una comparación entre el movimiento de una partícula bajo la acción de una fuerza conservativa con el movimiento de una canica en un recipiente de fondo redondo o en la parte superior de una bola de bolos. Así, en J puede leerse:

Una situación parecida es una canica que rueda en una ensaladera de fondo redondo. Decimos que $x = 0$ es un punto de **equilibrio estable**. Más generalmente, *todo mínimo de una curva de energía potencial es una posición de equilibrio estable* [...] Esto es similar a una canica que rueda sobre la parte superior de una bola de bolos. Los puntos x_2 y x_4 son puntos de **equilibrio inestable**; *todo máximo de una curva de energía potencial es una posición de equilibrio inestable* (Young y Freedman, 2009, p.235).

En F, se expone un ejemplo similar al de la canica pero no se lo presenta invocando una analogía entre ambos sistemas. Es decir, los autores lo introducen como un ejemplo adicional de situaciones de equilibrio estable. Así, puede leerse:

Otro sistema mecánico simple con una configuración de equilibrio estable es una bola que rueda en el fondo de un tazón. En cualquier momento la bola se desplaza de su posición más baja y tiende a regresar a dicha posición cuando se libera (Serway y Jewett, 2007, p. 185).

De manera similar, para el equilibrio inestable mencionan como ejemplo el caso de un lápiz que se equilibra sobre su punta. El tratamiento dispensado en B es similar, los autores exponen el ejemplo de una canica que rueda en el fondo de un tubo flexible en forma de U como representativo del equilibrio estable sin establecer comparaciones, es decir, como otro ejemplo. Se afirma: “El punto más bajo de la superficie del tubo es

el punto de equilibrio estable, puesto que si la canica se desplaza ligeramente de esta posición tiende a volver a ese punto” (Gettys *et al.*, 2005, p. 195).

5.2.5.2 Acerca de la inclusión a referencias históricas

Las referencias encontradas, en líneas generales, son comentarios escuetos sobre cuáles son los principales científicos que investigaron sobre algunos de los conceptos en cuestión. Aparecen para indicar porque cierta unidad de medida recibe el nombre con el que se la designa. Llama la atención el no haber encontrado referencias a los trabajos de Joule, Meyer y Helmholtz en el establecimiento de la ley de conservación de la energía. A pesar de que desde la investigación se sugiere introducir la conservación de la energía siguiendo el camino histórico (Solbes y Tarín, 2008), los autores de los libros de texto no se hacen eco de estas recomendaciones. Pueden encontrarse afirmaciones como las que se citan a continuación: “La unidad de trabajo en el SI es el **joule** (que se abrevia J y se pronuncia “yul”, nombrada así en honor del físico inglés del siglo XIX James Prescott Joule)” (Young y Freedman, 2009, p. 182); “En el SI la unidad de potencia es el **watt** (W), llamada así por el inventor inglés James Watt” (Young y Freedman, 2009, p. 199); “La unidad de potencia es el joule por segundo (J/s), que también se llama watt (en honor de James Watt, el ingeniero que desarrolló la máquina de vapor en el siglo XVIII)” (Hewitt, 2004, p. 106); “...Esta unidad se llama así en honor de James Watt (1736-1819), quien introdujo importantes mejoramientos en los motores de vapor de su época” (Resnick *et al.*, 2011, p. 234).

“La unidad SI de potencia se llama así en honor de James Watt (1736-1819), un ingeniero escocés que desarrolló una de las primeras máquinas de vapor prácticas” (Wilson *et al.*, 2007, p. 165).

La unidad SI de potencia es el Watt (W), que equivale a 1 J/s. El nombre de la unidad es en honor de James Watt (1736-1819), quien hizo importantes contribuciones a la máquina de vapor. Watt introdujo el concepto de caballo de potencia (hp) como unidad de potencia para caracterizar el ritmo al que hacen trabajo estas máquinas (Gettys *et al.*, 2005, pp.177-178).

En el sistema MKSC, el trabajo se expresa en newton metro, unidad que se llama joule y se abrevia por J. [...] El nombre Joule fue escogido en honor de James Prescott Joule (1816-1869), científico británico, famoso por sus investigaciones sobre los conceptos de energía y calor (Alonso y Finn, 1976, p. 207).

En el sistema MKSC la potencia se expresa en joule por segundo, unidad que se denomina watt y se abrevia W. [...] El nombre watt fue escogido en honor del ingeniero británico James Watt (1736-1819), quien mejoró la máquina de vapor con sus inventos (Alonso y Finn, 1976, p. 207).

En G se dice que la unidad de potencia es el vatio (J/s), no se hace alusión en honor a quien recibe ese nombre. En tanto que en F, sólo se dice que la unidad de potencia es el watt en honor a James Watt, no se sitúa temporalmente a Watt ni se indica cuáles fueron sus aportes, como si se realiza en algunos de los otros libros analizados. Estos dos ejemplares fueron categorizados como libros en los que no se incluyen referencias históricas.

También se encontraron breves alusiones a Robert Hooke. En I puede leerse: “La ecuación 5.3 es una forma de lo que se conoce como *ley de Hooke*, llamada así en honor de Robert Hooke, un contemporáneo de Newton” (Wilson *et al.*, 2007, p. 146). En tanto que en B, se incluye una nota al pie en que se afirma: “Robert Hooke (1635-1703), contemporáneo de Newton, es reconocido como el primero en demostrar que la fuerza ejercida por un resorte es proporcional a su deformación” (Gettys *et al.*, 2005, p.170).

En G pudo encontrarse un breve comentario, con tintes de tipo histórico, sobre las dificultades para establecer la ley de conservación de la energía mecánica. En dicho ejemplar, simplemente se afirma que estos inconvenientes pudieron ser resueltos recién en el siglo XIX, cuando se reconoció que una disminución de la energía mecánica viene acompañada por la aparición de otro tipo de energía. Sin embargo, esta frase no aporta más información que situar cronológicamente los avances de esta rama de la Física. Así puede leerse: “...la importancia de la conservación de la energía¹ no se apreció hasta el siglo XIX, cuando se descubrió que la desaparición de energía mecánica siempre viene acompañada por la aparición de otro tipo de energía” [...] (Tipler, 1993, p. 172). A través de una nota al pie el autor aclara: “Puede haber otros factores en el sistema que aumenten la energía mecánica, por ejemplo, cuando una batería haga funcionar un motor. Por lo tanto, la presencia del rozamiento no significa necesariamente que la energía mecánica del sistema disminuya” (Tipler, 1993, p. 172).

5.2.5.3. Acerca de las aplicaciones a la vida cotidiana

En pocos textos se contemplan aplicaciones de los conceptos que se tratan. En C, en una de las secciones que complementa el texto principal, bajo el título Física Aplicada-Deportes, se presenta una imagen para ilustrar el salto con garrocha. En la parte principal del texto se afirma: “Hay muchos ejemplos interesantes de conservación de la energía en los deportes, como el salto con pértiga que se ilustra en la figura 8-10” (Giancoli, 2009, p. 192). Luego se presenta una descripción de las transformaciones de energía que ocurren en el dicho deporte. Una descripción similar utilizó el autor en las páginas introductorias del capítulo, la misma se cita y analiza en el capítulo siguiente de esta tesis. En J, a diferencia de lo detectado en C, los autores no afirman explícitamente que la conservación de la energía tiene aplicaciones en los deportes, sin embargo al

presentar un análisis de las interacciones energéticas que ocurren en el salto de *bungee*, están contemplando este aspecto de manera implícita. A continuación se transcribe el epígrafe que explica una fotografía:

La caída de una persona atada a un bungee implica interacciones entre energía cinética, energía potencial gravitacional y energía potencial elástica. Sin embargo, la energía mecánica no se conserva, porque tanto fuerzas de fricción dentro de la cuerda del bungee como la resistencia del aire también efectúan trabajo. (Si la energía mecánica *se conservara*, ¡la persona seguiría rebotando eternamente!) (Young y Freedman, 2009, p. 225).

Por otro lado, podría pensarse que en C, cuando se presenta el caso del movimiento de la Luna alrededor de la Tierra o el de los satélites, el autor expone algunas de las aplicaciones de los conceptos desarrollados, aun cuando no lo diga de manera explícita. Así puede leerse: “Ésta es la razón por la cual la Luna, así como los satélites artificiales, puede permanecer en órbita sin consumir combustible, ya que no es necesario realizar trabajo en contra de la fuerza de la gravedad” (Giancoli, 2009, p. 167).

En F, bajo el título “Física útil para conducción segura”, se pide resolver el problema: “Un automóvil que viaja con una rapidez inicial v se desliza una distancia d hasta detenerse después de aplicar los frenos. Si la rapidez inicial del automóvil es $2v$ en el momento de frenar, estime la distancia que se desliza” (Serway y Jewett, 200, p. 207). En tanto que en D se utiliza el teorema de trabajo y energía cinética para explicar cómo influye la velocidad sobre la distancia que necesita un vehículo para frenar y su aplicación en accidentes de tránsito. En C se introduce un problema similar cuya resolución se realiza apelando al teorema de trabajo y energía cinética, sin embargo no se explicita su utilidad en accidentología, sólo se afirma que si se duplica la velocidad, la distancia de frenado se cuadruplica. En los ejemplares mencionados puede leerse:

Un automóvil que viaja a 60 km/h puede frenar y detenerse en una distancia $d = 20$ m (figura 7-17a). Si el auto viaja con el doble de rapidez, es decir, a 120 km/h, ¿cuál será la distancia de frenado (figura 7-17b)? Suponga que la fuerza de frenado máxima es aproximadamente independiente de su rapidez (Giancoli, 2009, p. 174).

Es interesante que la fuerza de fricción entre un neumático que derrapa y el asfalto es igual cuando el automóvil se mueve despacio o aprisa. La fricción no depende de la rapidez. La variable es la *distancia* necesaria para detenerse. Esto significa que un auto que avanza con el doble de rapidez que otro tiene cuatro veces la energía cinética de éste, y necesita cuatro veces el trabajo para detenerse, y en consecuencia necesita cuatro veces la distancia para detenerse. En las investigaciones de los accidentes se tiene muy en cuenta que un automóvil que vaya a 100 km por hora patinará cuatro veces más lejos, en una frenada de pánico, que si fuera a 50 km por hora. Los automóviles modernos, con frenos antibloqueo no derrapan, pero se les aplica el mismo principio. Para parar un automóvil que vaya al doble de velocidad que otro, se necesita cuatro veces el trabajo y se necesita cuatro veces la distancia (Hewitt, 2004, p. 110).

Cabe aclarar que los problemas presentados en C, D y en F son resueltos apelando a diferentes conceptos físicos, en los dos primeros mediante el teorema de trabajo y energía cinética y en el último a través de la conservación de la energía. Sin embargo, las conclusiones a las que arriban los autores son equivalentes, dado que implícitamente se modela al sistema (el automóvil) como una partícula, con lo cual el teorema que vincula energía y trabajo resulta ser un caso particular de la conservación de la energía.

En G, si bien no se advierte manifiestamente sobre cómo los conceptos científicos influyen en el diseño de dispositivos tecnológicos cotidianos, se ofrecen elementos que permiten al lector perfilar una idea sobre esto. En otras palabras, a través de la situación que se describe a continuación, el autor insinúa una posible relación entre ciencia y

tecnología. En el ejemplo en cuestión, se esboza implícitamente la aplicación de la conservación de la energía a situaciones cotidianas. El problema que se presenta involucra una montaña rusa con un bucle circular. En ésta, un vagón parte del reposo desde una altura inicial igual a cuatro veces el radio del bucle. Justo antes de ingresar al bucle, el vagón aumenta su masa por la adición de un saco de arena que cae de una zona en obras del parque de diversiones; producto de esto, la velocidad se reduce en un 25%. Mediante la conservación de la energía mecánica se encuentra el valor de la velocidad que tendría el vagón con pasajeros en la parte inferior y luego en la parte superior de dicho bucle. Luego, estos resultados se combinan con la segunda ley de Newton para encontrar la magnitud de la fuerza normal que experimentaría un pasajero cuando el vagón se encuentra en la parte superior del mencionado bucle. Dado que el valor obtenido es negativo, se concluye que el vagón no permanece en el bucle y cae. Es decir, la resolución conduce a que la magnitud de la fuerza normal es negativa, hecho que significa una contradicción y que se interpreta afirmando que la velocidad en el punto superior del bucle no es suficiente para mantener el vagón en el bucle. En el planteo posterior que realiza el autor, queda patente que los riesgos que estos bucles circulares suponen para la integridad física de los pasajeros condujeron a cambios en su diseño. Es decir, de la advertencia que realiza el autor sobre los peligros que los bucles circulares suponen, y que condujeron a su reemplazo por bucles ovales, puede inferirse una aplicación de los conceptos físicos a situaciones cotidianas. Aun cuando el autor no lo manifieste explícitamente como tal, se ha decidido incluir este ejemplo como una de las aplicaciones a la vida cotidiana. El siguiente fragmento ilustra lo señalado previamente:

Una pérdida del 25% de la velocidad supone perder casi un 44% de la energía cinética. Afortunadamente hay sistemas de seguridad que evitan que las vagonetas caigan, por lo que nuestros antepasados probablemente habrían sobrevivido. La

mayor preocupación entre los usuarios de la atracción era la rotura de cuello. En el bucle, los viajeros estaban sometidos a aceleraciones del orden de 12 g. Aquel bucle del Flip Flap fue el último de los bucles circulares en montañas rusas. Los bucles actuales tienen forma oval, más altos que anchos (Tipler, 1993, p. 177).

Cabe aclarar que, al afirmarse que las montañas rusas actuales poseen bucles ovales que son más altos que anchos, sin incluirse una justificación de los motivos de este tipo de montaje, se deja al lector la tarea de inferir las razones de ello. Solamente un lector atento y con un sólido manejo conceptual concluirá que el hecho de incluir bucles ovales, más altos que anchos, implica que una porción mayor de la energía mecánica se encuentra en la forma de energía potencial, con lo cual la velocidad requerida para permanecer en el bucle se reduce (esto es así en virtud de la conservación de la energía mecánica, el aumento de energía potencial ocurre a expensas de la energía cinética). Esta reducción en la magnitud de la velocidad deviene en la experimentación de menores aceleraciones por parte de los pasajeros en los vagones de la montaña rusa. Estas conclusiones no son evidentes para un lector novato de Física y sería conveniente una mayor elaboración por parte del autor del libro de texto.

En J, se ha encontrado una descripción de los actuales aviones Boeing y los antiguos a hélice. Básicamente, comparan estos dispositivos apelando al concepto de potencia. Y además, es de destacar, que los autores buscan aclarar confusiones habituales entre conceptos físicos; cuestión que será analizada en otro capítulo.

La rapidez de los aviones comerciales modernos depende directamente de la potencia de los motores (figura 6.27). Los motores más grandes de los aviones de hélice de la década de 1950 desarrollaban aproximadamente 3400 hp ($2.53 \cdot 10^6$ W) y tenían rapidez máximas del orden de 600 km/h (370 mi/h). La potencia de cada motor de un Boeing 767 es casi 20 veces mayor, y permite al avión volar a cerca de 900 km/h (560 mi/h) y llevar una carga mucho más pesada.

Si los motores están produciendo el empuje máximo mientras el avión está en reposo en tierra, de manera que $v = 0$, la potencia desarrollada por los motores es *cero*. ¡Fuerza y potencia no son lo mismo! (Young y Freedman, 2009, p. 200).

En I, se ha encontrado, en un recuadro que complementa el texto principal, cómo se ha tomado en cuenta la conservación de la energía en el diseño de cierto tipo de vehículos, para mejorar su eficiencia. Dicha información se muestra en la Figura 1.

A FONDO 5.2 CONVERSIÓN DE ENERGÍA HÍBRIDA

Como ya aprendimos, la energía puede transformarse de una forma a otra. Un ejemplo interesante es la conversión que ocurre en los nuevos automóviles híbridos, los cuales tienen tanto un motor de gasolina (de combustión interna) como un motor eléctrico impulsado por una batería, y donde ambos se utilizan para suministrar energía al vehículo.

Un automóvil en movimiento tiene energía cinética y cuando usted oprime el pedal del freno para detener el vehículo, se pierde energía cinética. Por lo común, los frenos de un auto realizan ese frenado mediante fricción, y la energía se disipa en forma de calor (conservación de energía). Sin embargo, con los frenos de un automóvil híbrido, parte de esa energía se convierte en energía eléctrica y se almacena en la batería del motor correspondiente. Este proceso se conoce como *frenado por recuperación*. Es decir, en vez de utilizar frenos de fricción regular para detener el vehículo, se usa el motor eléctrico. Con tal sistema, el motor se desplaza en reversa y funciona como generador, al convertir la energía cinética que se pierde en energía eléctrica. (Véase la sección 20.2 para la operación de generadores.) La energía se almacena en la batería para su uso posterior (figura 1).

Los automóviles híbridos también deben incluir frenos de fricción regular para cuando sea necesario un frenado rápido. (Véase A fondo 20.2 de la página 666, para conocer más acerca de los híbridos.)

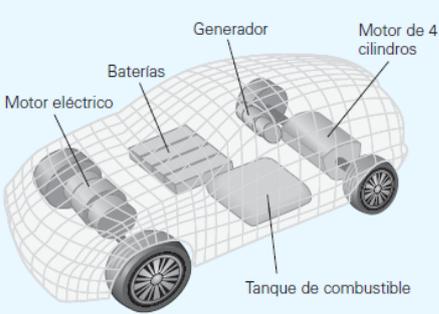


FIGURA 1 Automóvil híbrido Diagrama que muestra los principales componentes. Véase el texto para conocer su descripción.

Figura 1: Aplicación de la conservación de la energía en el mejoramiento de la eficiencia de un vehículo. Imagen tomada de Wilson *et al* (2007, p. 164).

5.2.5.4. Acerca de la inclusión de diagramas de barra que muestran la distribución temporal de las energías cinética y potencial de un sistema

Se ha detectado que en seis libros (B, C, E, F, I, J) se utilizan diagramas de barras para mostrar cómo evolucionan temporalmente los diferentes tipos de energía de un sistema. En E y en I se presentan estos esquemas en una sola oportunidad, en los demás son más usuales. Una ilustración típica se muestra en la Figura 2.

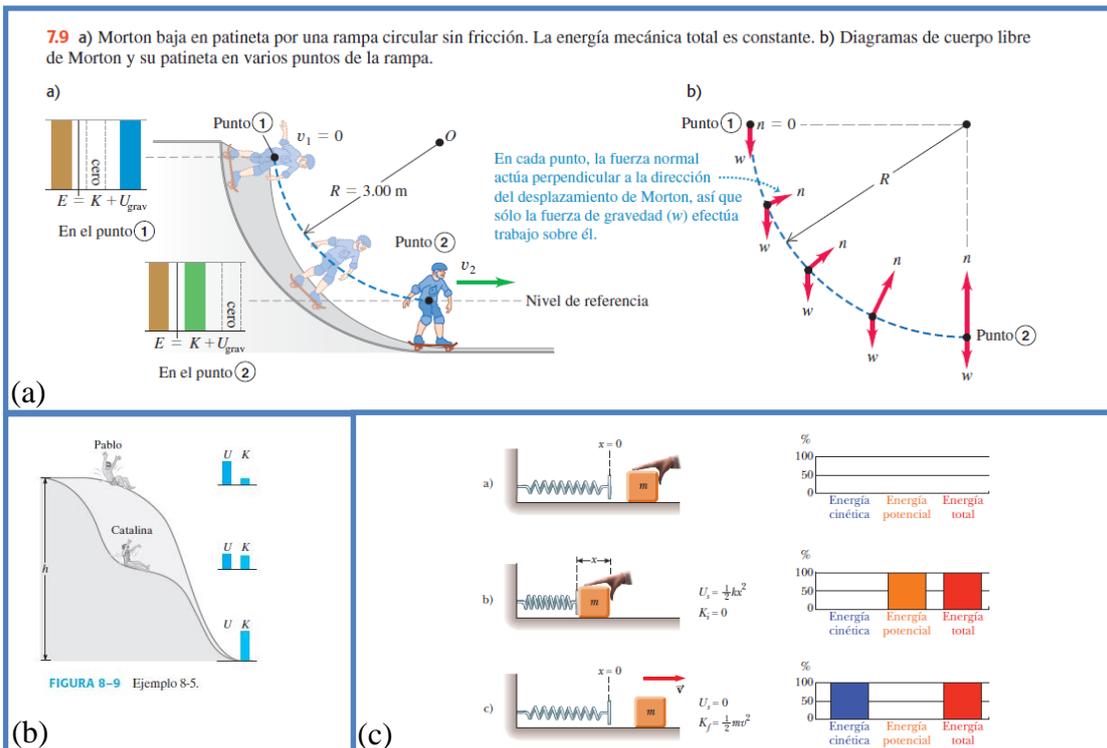


Figura 2: Gráficos de barras para mostrar cómo se distribuye la energía de un objeto en distintos puntos de su trayectoria en: (a) Young y Freedman (2009, p. 220), (b) Giancoli (2009, p. 192) y (c) Serway y Jewett (2007, p. 180).

5.3. Otras cuestiones: Errores e imprecisiones

En un ejemplar se detectaron digresiones entre el lenguaje empleado para caracterizar ciertos conceptos físicos con los significados que comúnmente se atribuyen a éstos en el ámbito matemático. Algo similar se observó con la simbología involucrada en la definición de flujo de campo entre libros universitarios de Física y de Cálculo (Pocoví y Collivadino, 2014b). Por ejemplo, se encontró que en E se utiliza el término antiparalelas para referirse a dos magnitudes vectoriales cuyas direcciones son opuestas, que difiere del significado otorgado en matemática. Esto se ilustra en la siguiente cita:

Nótese que la potencia puede ser negativa si \mathbf{F} o \mathbf{v} son antiparalelas. Aplicar potencia negativa a un cuerpo, significa hacer trabajo negativo en él: la fuerza que el agente externo ejerce en el cuerpo, sigue una dirección opuesta a su desplazamiento ds y por lo mismo contraria a \mathbf{v} (Resnick *et al.*, 2011, p. 234).

En tanto que, si se sigue el formalismo de la geometría euclídeana, la palabra antiparalelas¹ se usa para designar una propiedad de las rectas. Es decir, se está usando la misma terminología para expresar conceptos diferentes. Similarmente, cuando se presenta la definición general de trabajo. Allí se plantea:

$$W = \lim_{\delta x \rightarrow 0} \sum_{n=1}^N F_n \delta x = \int_{x_i}^{x_f} F_x(x) dx$$

Define la integral de F_x respecto de x de x_i a x_f . Desde el punto de vista numérico, la cantidad anterior es idéntica a la superficie existente bajo la curva de la fuerza y el eje x entre los límites x_i y x_f . De ahí que la integral puede interpretarse gráficamente como un área (Resnick *et al.*, 2011, p. 236).

Los autores usan como sinónimos los conceptos matemáticos de área y superficie, siendo que las mismas son equivalentes sólo bajo ciertas condiciones.

¹ Dos rectas son antiparalelas una de la otra respecto a otro par de rectas si la bisectriz del ángulo que forma el primer par es perpendicular a la bisectriz del ángulo formado por las otras dos.

CAPÍTULO 6: TRABAJO Y ENERGÍA DE SISTEMAS DISCRETOS

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos tras la revisión de las secciones de los libros de texto correspondientes a trabajo y energía de una partícula y de sistemas de partículas.

El pre-análisis de la información impresa en los libros de texto permitió obtener resultados parciales que fueron presentados en “*La Conferencia Regional para América Latina: Libros de texto y medios de enseñanza en los distintos niveles del sistema educativo. Presencias, ausencias, encuentros y desencuentros*” que tuvo lugar en Buenos Aires los días 26, 27 y 28 de Septiembre de 2018. El título de la ponencia presentada en esa ocasión fue “Conceptualización de la energía en libros de texto de física universitaria de uso frecuente en Argentina”, cuya autora y coautora son la tesista y la directora, respectivamente. Ese mismo año se participó del III Simposio Virtual de Enseñanza de las Ciencias Naturales (EnCiNa) organizado por el Proyecto 14 de la APFA y el Ciclo de Seminarios del Centro de investigación y Apoyo a la Educación Científica de la Facultad de Farmacia y Bioquímica de la Universidad de Buenos Aires, realizado en Noviembre y Diciembre de 2018. El título de la presentación fue “Descripción de la conceptualización de la energía en libros de texto universitarios” y las autoras son las citadas previamente.

Es de destacar que la Comisión Organizadora de IARTEM 2018 Buenos Aires, solicitó a mediados del año 2019, presentar el trabajo extenso para ser incluido en las Memorias del evento. Se cumplió con lo requerido estando al día de la fecha en etapa de evaluación. Se estimó conveniente ampliar y profundizar algunos de los aspectos analizados en dichos trabajos y, paralelamente, se detectaron otros que originalmente no fueron contemplados. Dicha reelaboración y ampliación es el objeto de este capítulo.

6.1. Conceptualización de la energía

Los resultados relativos a esta variable se resumen en la Tabla IV.

Sub-categorías		Libros de texto										
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	Tot
V3.1. Presentación de definición	V3.1.1. Se presenta			x	x	x			x	x		5
	V3.1.2. No se presenta	x	x				x	x			x	5
V3.2. Explicitación de las dificultades para definir	V3.2.1. Se presenta		x	x	x		x					4
	V3.2.2. No se presenta	x				x		x	x	x	x	6
V3.3. Diferenciación de las connotaciones del término	V3.3.1. Se presenta	x					x			x		3
	V3.3.2. No se presenta		x	x	x	x		x	x		x	7
V3.4. Aclaración de eventuales confusiones con otros conceptos	V3.4.1. Se presenta										x	1
	V3.4.2. No se presenta	x	x	x	x	x	x	x	x	x		9
V3.5. Tipos de energía que se consideran	V3.5.1. Cinética	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	10
	V3.5.2. Potencial	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	10
	V3.5.4. Otros	x	x	x	x	x	x	x		x	x	9
V3.6. Aclaración de confusiones entre tipos de energía y sus fuentes	V3.6.1. Se presenta											0
	V3.6.2. No se presenta	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	10
V3.7. Explicitación del carácter relativo de la energía	V3.7.1. Se presenta	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	10
	V3.7.2. No se presenta											0
V3.8. Explicitación del carácter sistémico de la energía	V3.8.1. Se presenta			x		x	x	x	x		x	6
	V3.8.2. No se presenta	x	x		x					x		4
V3.9. Explicitación del sistema en la discusión	V3.9.1. Se presenta					x	x	x				3
	V3.9.2. No se presenta	x	x	x	x				x	x	x	7

Tabla IV: Síntesis de resultados. Variable V3: Conceptualización de la energía.

6.1.1. Acerca de la definición y de las limitaciones de las definiciones propuestas

En la mitad de los libros de texto no se define energía (A, B, F, G, J).

En A, si bien la cuestión de la definición no se contempla explícitamente, de la transcripción que se muestra a continuación puede inferirse que la postura de los autores está próxima a la de Feynman *et al.* (1987), dado que afirman que se presentarán otras técnicas matemáticas que conducirán a definir los conceptos de trabajo y energía:

Sin embargo, en los problemas importantes que surgen en la física, la fuerza sobre una partícula no se conoce como función del tiempo, sino como función de la posición especificada por \mathbf{r} o x, y, z ; es decir, como $\vec{F}(\vec{r})$ o $\vec{F}(x, y, z)$. Por tanto, no podemos evaluar la integral de la ec. (8.1) hasta conocer x, y, z en función del tiempo; vale decir, hasta haber resuelto precisamente el problema que estamos por resolver con la ec. (8.1). Para salir de este aparente círculo vicioso debemos recurrir a otras técnicas matemáticas que nos conducirán a definir dos conceptos nuevos: trabajo y energía. Estos métodos nos permitirán resolver problemas aún en

los casos que desconozcamos la fuerza, pero podamos formular suposiciones razonables sobre sus propiedades (Alonso y Finn, 1976, pp. 202-203).

En todos aquellos libros de texto en que se presenta una definición para el concepto (C, D, E, H, I), se dice que es la capacidad de efectuar trabajo. Por ejemplo: “En Física, como en la vida cotidiana, cuando algo tiene energía, puede efectuar trabajo” (Wilson *et al.*, 2007, p. 140). Cuando se aborda el teorema de trabajo y energía cinética, estos autores insisten en definir a la energía en términos de trabajo:

Ahora que tenemos una definición operativa de trabajo, examinemos su relación con la energía. La energía es uno de los conceptos científicos más importantes. La describimos como una cantidad que poseen los objetos o sistemas. Básicamente, el trabajo es algo que se hace sobre los objetos, en tanto que la energía es algo que los objetos tienen: la capacidad para efectuar trabajo (Wilson *et al.*, 2007, p. 148).

En dos de los ejemplares (C, D) que presentan la definición de energía en términos de trabajo, se explicitan las limitaciones de dicha enunciación bajo el formato de nota al pie. Así, en D puede leerse: “Este “algo” que permite a un objeto realizar trabajo es *energía*...” (Hewitt, 2004, p.106). El autor salva la aparente contradicción entre la conservación de la energía y la no conservación de la capacidad de hacer trabajo, y que fuera ampliamente documentada desde la investigación relativa al tema (Lehrman, 1973; Sefton, 2004; Sexl, 1981;), aclarando al pie de página que: “Hablando con propiedad, lo que permite que un objeto efectúe trabajo es su energía disponible, porque no toda la energía de un objeto se puede transformar en trabajo” (Hewitt, 2004, p. 106). Por otra parte, en C, se encuentra la siguiente afirmación:

[...] definimos la energía en la manera usual como “la capacidad para realizar trabajo”. Esta simple definición no es muy precisa, ni es realmente válida para todos los tipos de energía.*¹ Sin embargo, funciona para la energía mecánica que estudiaremos en este capítulo y el siguiente” (Giancoli, 2009, p. 172).

La correspondiente nota al pie dice: “La energía asociada con el calor a menudo no está disponible para efectuar trabajo, como veremos en el capítulo 20” (Giancoli, 2009, p. 172).

En tres libros (C, I, J), cuando se introduce el concepto de energía, ya sea a través de una definición o esquivando esta cuestión, los autores resaltan que la importancia del concepto de energía radica en su conservación. En estas secciones introductorias, la conservación de la energía tiene un lugar de preeminencia por sobre las otras características del mismo (como transferencia, transformación y degradación). Características similares fueron detectadas en libros de texto españoles para ESO (Solbes y Tarín, 1998, 2004). Así por ejemplo, en J puede leerse: “La importancia del concepto de energía surge del principio de conservación de la energía: 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).

En C, el autor, mediante el uso de la redundancia como recurso lingüístico, subraya que lo esencial del concepto de energía es su propiedad de conservación. En la página inicial del capítulo titulado “Conservación de la energía”, el autor inicia el desarrollo presentando una descripción del salto con garrocha apelando a la conservación de la energía para su explicación, paralelamente presenta un breve índice temático del capítulo y una serie de preguntas iniciales. En la Figura 3, se muestra la descripción de este fenómeno en C utilizando la conservación de la energía. En paralelo se muestra una parte de la introducción del capítulo titulado “Trabajo y energía” en I, que ofrece una descripción análoga del mismo fenómeno. Se ha resaltado en letras negritas las frases en que se resalta la importancia de la conservación de la energía.

Una descripción del salto con pértiga (garrocha), como se muestra en la imagen, sería: un atleta corre con una pértiga, la planta en el suelo e intenta empujar su cuerpo por arriba de una barra colocada a cierta altura. Sin embargo, un físico podría dar una descripción distinta: el atleta tiene energía potencial química almacenada en su cuerpo. Usa tal energía potencial para efectuar trabajo al correr por la pista para adquirir velocidad, es decir, energía cinética. Cuando planta la pértiga, casi toda su energía cinética se convierte en energía potencial elástica de la pértiga flexionada. Esta energía potencial se utiliza para levantar al atleta, es decir, efectuar trabajo contra la gravedad, y se convierte parcialmente en energía potencial gravitacional. En el punto más alto apenas queda suficiente energía cinética para llevar al saltador sobre la barra. Durante la caída, la energía potencial gravitacional se convierte otra vez en energía cinética, que el colchón absorbe al efectuar trabajo para detener la caída. El saltador participa en un juego de toma y daca de trabajo-energía [...] Podría haber una transformación de una forma a otra; **pero se conserva la cantidad total de energía, es decir, nunca cambia. Esto es lo que hace tan útil el concepto de energía.**



(a)

Fuente: Harold E. Edgerton/Edgerton & Eather Edgerton Foundation, 2002, courtesy of Palm Press, Inc.

Un saltador con pértiga (garrocha) adquiere energía cinética al correr hacia la barra alta. Cuando apoya la pértiga y pone su peso sobre ella, su energía cinética se transforma: primero en energía potencial elástica de la pértiga arqueada y luego en energía potencial gravitacional al elevarse su cuerpo.

Cuando cruza la barra, la pértiga está recta y ha cedido toda su energía potencial elástica, transformada en energía potencial gravitacional, al atleta.

Casi toda la energía cinética de éste desaparece transformándose también en energía potencial gravitacional de su cuerpo a la gran altura de la barra (récord mundial de más de 6 m), que es exactamente lo que busca. En estas y todas las demás transformaciones de energía que continuamente tienen lugar en el mundo, la energía total siempre se conserva. De hecho, **la conservación de la energía es una de las grandes leyes de la física**, y se aplica en una amplia gama de áreas.



(b)

Figura 3: Descripción del salto con garrocha mediante la conservación y transformaciones de energía en: (a) Wilson *et al.* (2007, pp. 140-141); (b) Giancoli (2009, p. 183).

Un sello de lo mostrado en la Figura 3, es la similitud de las descripciones verbales y de las imágenes. Esto confirmaría lo que plantea Martínez Bonafé (2008) de que casi todos los temas se enseñan de la misma manera en todos los libros.

En C, como ya se ha mencionado, el autor es redundante en lo que respecta a la importancia de la conservación de la energía. Así, unas páginas antes de abordar la conservación de la energía se encuentran referencias al respecto:

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).

Y luego, en la introducción del capítulo en que se trata específicamente sobre la conservación de la energía, insiste afirmando: “Ahora veremos por qué es tan importante el concepto de energía. En última instancia, la razón es que la energía se conserva, es decir, la energía total siempre permanece constante en cualquier proceso” (Giancoli, 2009, p. 184).

De las citas precedentes se desprende que la postura de los autores está próxima a la de varios investigadores. Sexl (1981) asegura que el hecho de que la energía se conserve es lo que motiva su introducción y no su conexión más o menos directa con los experimentos. Millar (2005) afirma que lo que hace de la energía una cantidad útil es que se conserve y Lehrman (1973) va más allá, al sostener que la energía es una magnitud que se ha definido porque se conserva, y que cualquier definición que no esté enraizada en su propiedad de conservación es medularmente falsa. En tanto Bunge (1999, p. 54) afirma que “la introducción del concepto general de energía se justifica por el principio general de conservación de la energía”. Duit (1981a), también sigue esta línea, afirma que aprender el concepto de energía en física siempre significa aprender el principio de conservación de la energía.

6.1.2. Acerca de las dificultades para su definición

En cuatro libros de texto (B, C, D, F) se explicitan las dificultades para definirla. Al respecto, en F se indica:

Todo proceso físico que ocurra en el universo involucra energía y transferencias o transformaciones de energía. Por desgracia, a pesar de su extrema importancia, la energía no es fácil de definir. Las variables en los capítulos previos fueron relativamente concretas; se tiene experiencia cotidiana con velocidades y fuerzas, por ejemplo. Aunque se tengan *experiencias* con la energía, como cuando se acaba

la gasolina o con la pérdida del servicio eléctrico después de una tormenta violenta, la noción de energía es más abstracta (Serway y Jewett, 2009, pp. 163-164).

En esta misma línea, Giancoli (2009, p. 172) afirma que: “La energía es uno de los conceptos más importantes de la ciencia. Sin embargo, no podemos dar una definición general simple de la energía en unas cuantas palabras. No obstante, cada tipo específico de energía puede definirse fácilmente”. Por otra parte, en B se advierte al lector sobre las dificultades que existen para formular buenas definiciones que a su vez sean buenas descripciones de los fenómenos. La complejidad de las definiciones de energía y trabajo queda expuesta en el siguiente fragmento:

En los libros elementales de ciencia se encuentra frecuentemente la energía definida como “la capacidad de realizar trabajo”, y el trabajo como “una fuerza que actúa durante una cierta distancia”. Al igual que la definición de Platón estas definiciones son descriptivas, pero poco rigurosas [...] No debe esperar que la definición de una magnitud como el trabajo, sirva también como una descripción de ella o que proporcione una visión intuitiva del concepto. Más bien la comprensión debe derivarse de la práctica adquirida al aplicar la definición rigurosa a situaciones diversas. Con cada explicación el concepto se hace más claro y la comprensión más madura (Gettys *et al.*, 2005, p. 180).

También en uno de aquellos en que se define la energía en términos del trabajo, se explicita que es un concepto difícil de definir. Así, por ejemplo, puede leerse:

Aunque la energía nos es familiar, es difícil de definir, porque no sólo es una “cosa”, sino es cosa y proceso a la vez, como si fuera a la vez un nombre y un verbo. Las personas, los lugares y las cosas tienen energía, pero normalmente observamos la energía sólo cuando se transfiere o se transforma (Hewitt, 2004, p. 104).

Las características observadas concuerdan con lo indicado por algunos investigadores que sostienen que no existe un concepto único, absoluto o universal de energía y que no tiene una definición simple (Sexl, 1981; Sefton, 2004).

6.1. 3. Acerca de las diferentes connotaciones del término

En la mayoría de los libros no se aclaran los significados disímiles que puede tener el término energía en el contexto cotidiano y en el científico. Llama la atención que los autores no hayan realizado aclaraciones en esta línea, dado que la energía es parte de nuestro lenguaje cotidiano. Sin embargo, en coincidencia con lo que plantea Bauman (1992b), esta familiaridad con el lenguaje, en lugar de ser útil, ha demostrado ser un obstáculo importante para comprender varios aspectos de este concepto. Por otro lado, la consideración de la polisemia de los conceptos no es exclusiva de esta área de la Física, sino que fue reportado para temas de otras ramas (Krapas y Corrêa, 2008; Pocoví y Collivadino, 2014; Machado y Marmitt, 2016) e incluso a otras disciplinas científicas (Murugó *et al.*, 2016).

Sólo en tres ejemplares (A, F, I) se hacen menciones que en apariencia podrían orientar al lector en esta dirección. Por ejemplo, en A, se realiza la siguiente advertencia al lector: “Recordemos al estudiante que los conceptos de trabajo y energía, tal como se usan en Física, tienen significados muy precisos y no deben ser confundidos con los mismos términos tal como son usados corrientemente en la vida diaria” (Alonso y Finn, 1976, p. 211). Sin embargo, esta distinción se realiza superficialmente: en el párrafo transcrito no se aporta información relevante sobre cómo se pueden distinguir sus significados. Esto es, se informa al lector de que hay diferencias pero no se dice cuáles son estas diferencias.

En este sentido, los enunciados, extraídos de otros dos libros y transcritos a continuación, ponen de manifiesto el intento de los autores en esta dirección. Sin embargo, la diferenciación también ocurre a nivel superficial, dado que sólo se deja entrever que cotidianamente se asocia energía con algunas de sus fuentes (alimentos y combustibles) y que, si bien el uso cotidiano no define la energía, contribuye en su delimitación. Las menciones que se recogen, provenientes del lenguaje coloquial y también de las discusiones sobre problemas energéticos, están más orientadas hacia aspectos concretos y deja poco espacio a la noción abstracta que le atribuye la física.

El concepto de energía es uno de los temas más importantes en ciencia e ingeniería. En la vida cotidiana se piensa en la energía en términos de combustible para transporte y calentamiento, electricidad para luz y electrodomésticos, y alimentos para el consumo. No obstante, estas ideas no definen la energía; solo dejan ver que los combustibles son necesarios para realizar un trabajo y que dichos combustibles proporcionan algo que se llama energía (Serway y Jewett, 2007, p. 163).

Cuando pensamos en energía se nos viene a la mente el costo del combustible para transporte y calefacción, o quizá los alimentos que proporcionan la energía que nuestro cuerpo necesita para llevar a cabo sus procesos vitales y trabajar.

Aunque estas nociones no definen realmente el trabajo y la energía, nos llevan en la dirección correcta (Wilson *et al.*, 2007, p.140).

6.1.4. Acerca de la aclaración de eventuales confusiones con otros conceptos

En los libros inspeccionados casi no se encontraron frases que busquen aclarar las confusiones usuales que llevan a los estudiantes a identificar energía con corriente eléctrica, fuerza, trabajo o potencia. Llama la atención que los autores no hayan realizado esfuerzos en esta dirección, dado que el tema de las concepciones alternativas de los estudiantes en materia energética ha sido efusivamente investigado en los años

ochenta (Duit, 1981a; Duit, 1984; Driver y Warrington, 1985; Trumper 1997). Solamente en J, cuando se aborda el tema potencia se afirma: “En el habla cotidiana, “potencia” suele emplearse como sinónimo de “energía” o “fuerza”. En física usamos una definición mucho más precisa: **potencia** es la rapidez con que se efectúa trabajo” (Young y Freedman, 2009, p. 199). Sin embargo, los autores eluden la cuestión de definir la energía como ya se ha indicado previamente en otra sección.

6.1.5. Acerca de los tipos de energía que se consideran

En la mayoría de los libros se destina un mayor número de páginas para el desarrollo de los conceptos de energía cinética y de energía potencial; y en menor cantidad, otros tipos de energía. Esto está en consonancia con los planteos que realiza Sefton (2004), que sostiene que enseñar sobre formas de energía distintas de la energía cinética y de la energía potencial, aunque no es exactamente incorrecto, tampoco es muy útil o esclarecedor. En una línea semejante, Kesidou y Duit (1993) sugieren que la instrucción científica debe enfatizar las ideas de transformación, conservación y degradación de la energía en lugar de proporcionar a los estudiantes una larga lista de diferentes formas de energía. Pero difiere de la postura asumida por Solbes y Tarín (1998, 2004), que afirman que esto constituye una postura reduccionista y mecanicista, porque no contempla la energía de los campos libres y de la masa en reposo.

6.1.5.1. Sobre la energía cinética

Todos coinciden en definir a la energía cinética como la energía que presenta una partícula en virtud de su movimiento. Por ejemplo, Serway y Jewett (2007, p. 174) afirman que “La cantidad $\frac{1}{2}mv^2$ representa la energía asociada con el movimiento de

la partícula. Esta cantidad es tan importante que se le ha dado un nombre especial,

energía cinética: $K = \frac{1}{2}mv^2$ (7.16)”

En los demás textos se encontraron definiciones semejantes a la citada. Vale aclarar que en J se dice que la definición no fue tomada al azar sino que se eligió para que tenga determinada interpretación física: “*la energía cinética de una partícula es igual al trabajo total que se efectuó para acelerarla desde el reposo hasta su rapidez actual [...] La definición no se eligió al azar: es la única definición que concuerda con esta interpretación*” (Young y Freedman, 2009, p. 191).

Cuando se aborda la energía cinética de un sistema de partículas aparecen diferencias sutiles entre los textos. En F, esto se efectúa en el mismo capítulo en el que estudia la energía de una única partícula. Al abordar la energía de un sistema compuesto por dos o más partículas que interactúan mediante fuerzas internas al sistema, señalan que: “*La energía cinética de tal sistema es la suma algebraica de las energías cinéticas de todos los integrantes del sistema*” (Serway y Jewett, 2007, p. 177). En seis ejemplares (B, C, D, H, I, J), no se discute la energía cinética de un sistema de partículas en forma explícita, sino que al abordarse la rotación de cuerpos rígidos, se supone que éstos están constituidos por un gran número de partículas y se deducen las ecuaciones correspondientes. En cambio, en otros tres libros (A, E, G) se demuestra que la energía cinética de un sistema de partículas puede ser escrita como la suma de la energía cinética traslacional (entendida como la mitad del producto de la masa total por el cuadrado de la velocidad del centro de masa del sistema) más un término que representa la energía cinética relativa al centro de masa (definida como la suma de las energías cinéticas de cada una de las partículas que constituyen el sistema y cuyas velocidades están referidas al centro de masa). En A, a esta última se la denomina energía cinética interna. Cabe señalar que a los planteos que se realizan en estos tres

ejemplares, subyace el carácter relativo de la energía aun cuando los autores no lo digan explícitamente. La descripción de esta cuestión se hace en otra sección de este capítulo.

Por otra parte, en lo que respecta a la energía cinética rotacional, en general se ha observado que se la aborda en otro capítulo (centrado en el estudio de cuerpos rígidos en rotación). Salvo en D no se aborda la energía cinética rotacional y en E, en que se la presenta en una sub-sección del capítulo “*Trabajo y Energía cinética*”. La tendencia observada es que los autores señalan que aun cuando un objeto extenso no se esté desplazando y simplemente se encuentre girando alrededor de un eje fijo, las partículas que lo constituyen sufren desplazamientos y por tanto poseen energía cinética. En líneas generales, se establecen comparaciones entre el rol que juegan las magnitudes rotacionales (θ , ω , α , I , τ) con las magnitudes traslacionales o lineales (x , v , a , m , F), respectivamente. Las relaciones entre las magnitudes rotacionales se derivan de manera análoga a las relaciones entre magnitudes lineales. A continuación se transcriben algunos fragmentos que se consideran representativos de las posturas asumidas.

Un cuerpo rígido en rotación es una masa en movimiento, así que tiene energía cinética que podemos expresar en términos de la rapidez angular del cuerpo y una nueva cantidad llamada *momento de inercia*, que depende de la masa del cuerpo y de la forma en que se distribuye tal masa [...]

Cuando un cuerpo rígido gira sobre un eje fijo, la rapidez v de la i -ésima partícula está dada por la ecuación (9.13), $v_i = r_i\omega$, donde ω es la rapidez angular del cuerpo. Diferentes partículas tienen distintos valores de r , pero ω es igual para todas (si no, el cuerpo no sería rígido). La energía cinética de la i -ésima partícula es:

$$\frac{1}{2}m_iv_i^2 = \frac{1}{2}m_ir_i^2\omega^2$$

La energía cinética *total* del cuerpo es la suma de las energías cinéticas de todas sus partículas:

$$K = \frac{1}{2} m_1 r_1^2 \omega^2 + \frac{1}{2} m_2 r_2^2 \omega^2 + \dots = \sum_i \frac{1}{2} m_i r_i^2 \omega^2$$

Sacando el factor común $\frac{1}{2} \omega^2$ de esta expresión:

$$K = \frac{1}{2} (m_1 r_1^2 + m_2 r_2^2) \omega^2 + \dots = \frac{1}{2} \left(\sum_i m_i r_i^2 \right) \omega^2$$

(Young y Freedman, 2009, pp. 296-297).

Se indica que la cantidad entre paréntesis, denotada con I , es el momento de inercia con respecto a ese eje, se reescribe la ecuación de la energía cinética en términos del producto del momento de inercia por el cuadrado de la velocidad angular, esto es

$$K = \frac{1}{2} I \omega^2. \text{ Más adelante se recalca que el momento de inercia depende del eje elegido.}$$

Las definiciones presentes en los demás libros son similares. Además, en algunas de las obras (E, J) se advierte que no es una nueva forma de energía. Esto se ilustra en las siguientes citas:

La energía cinética dada por la ecuación (9.17) *no* es una nueva forma de energía; es simplemente la suma de las energías cinéticas de las partículas que constituyen el cuerpo rígido en rotación. Al usar la ecuación (9.17), ω *debe* medirse en radianes por segundo, no revoluciones ni grados por segundo, con la finalidad de obtener K en joules; la razón es que usamos $v_i = r_i \omega$ en la deducción (Young y Freedman, 2009, p 297).

La energía cinética rotacional que aparece en la ecuación 11-29 no es un nuevo tipo de energía cinética. No es más que la suma de la energía cinética traslacional de todas las partículas del cuerpo. Aunque el cuerpo entero no presente movimiento de traslación, cada partícula posee una velocidad tangencial, y por lo mismo energía cinética. La dirección instantánea de su velocidad cambia al girar el cuerpo, pero la energía cinética depende de v^2 y es escalar, de ahí que ninguna dirección esté asociada a ella. Es, pues, correcto sumar la energía cinética de las partículas

del cuerpo que gira. La energía cinética rotacional $\frac{1}{2}I\omega^2$, no es sino un modo práctico de expresar la energía cinética de todas las partículas en un cuerpo rígido (Resnick *et al.*, 2011, p. 244).

Cuando se aborda el tema de rotación y traslación simultáneas aparecen algunas diferencias en la manera en que se deduce la ecuación que cuantifica la energía cinética total. En tres ejemplares (A, E, G), se aclara que un cuerpo que se encuentra en rotación con respecto a un eje fijo que pasa por su centro de masa y, que a la vez, se traslada con respecto a un observador, tendrá asociada una energía cinética constituida por dos contribuciones. Una de ellas es la energía cinética traslacional ($\frac{1}{2}Mv_{CM}^2$) y la otra es la energía cinética relativa al centro de masa. Se transcribe, el planteo seguido en A y G.

Como demostramos en el ejemplo 9.8, la energía cinética interna de un cuerpo en un sistema inercial de referencia es $E_K = \frac{1}{2}Mv_{CM}^2 + E_{K,CM}$, en donde M es la masa total, v_{CM} es la velocidad del centro de masa, y $E_{K,CM}$ es la energía interna respecto al centro de masa. En el caso de un cuerpo rígido, $\frac{1}{2}Mv_{CM}^2$ es justamente la energía cinética de traslación, y por consiguiente, $E_{K,CM}$ debe ser la energía cinética de rotación con respecto al centro de masa, calculada con la ayuda de la ec. (10.16). Esto es cierto ya que, en un cuerpo rígido, el centro de masa está fijo en el cuerpo, y el único movimiento que el cuerpo puede tener con respecto a su centro de masa es de rotación. Por consiguiente:

$$E_K = \frac{1}{2}Mv_{CM}^2 + \frac{1}{2}I_C\omega^2$$

en la cual I_C es el momento de inercia con respecto a un eje de rotación que pasa a través del centro de masa (Alonso y Finn, 1976, p.312).

En el capítulo 8 vimos que la energía cinética de un cuerpo que rueda puede expresarse como la suma de la energía cinética de traslación del movimiento del centro de masas más la energía cinética relativa al centro de masas. Para un objeto que gira, la energía cinética relativa vale $\frac{1}{2}I_{CM}\omega^2$. Entonces la energía cinética total será:

$$E_C = \frac{1}{2}Mv_{CM}^2 + \frac{1}{2}I_{CM}\omega^2 \text{ (Tipler, 1993, p. 261).}$$

Young y Freedman (2009, p.323), no demuestran una ecuación idéntica a la ecuación precedente, pero justifican su proceder tal como se expone en la siguiente cita:

Demostrar que el movimiento de un cuerpo rígido siempre puede dividirse, en movimientos independientes de traslación del centro de masa y rotación alrededor del centro de masa, rebasa el alcance de este libro; no obstante, podemos comprobar que es cierto para la *energía cinética* de un cuerpo rígido con movimiento tanto traslacional como rotacional. En este caso, la energía cinética del cuerpo es la suma de una parte $\frac{1}{2}Mv_{CM}^2$ asociada al movimiento del centro de masa y una parte $\frac{1}{2}I_{CM}\omega^2$ asociada a la rotación alrededor de un eje que pasa por el centro de masa:

$$E_C = \frac{1}{2}Mv_{CM}^2 + \frac{1}{2}I_{CM}\omega^2 \quad (10.8)$$

Por su parte en H, simplemente se afirma “*Al trabajar con problemas que involucran tanto la rotación como la traslación, debemos recordar sumar la energía cinética rotacional K_R a la energía cinética trasnacional [sic] K_T* ” (Tippens, 2009, p. 233). El autor no sólo no ofrece argumentos que justifiquen la suma de ambas energías sino que además emplea la palabra transnacional cuando debería traslacional.

En cuatro libros (B, C, F, I) obtienen la ecuación de la energía cinética total para la rotación y traslación simultáneas a partir del teorema de los ejes paralelos. Más

específicamente, se considera un cuerpo en forma de cilindro que rueda sin deslizar, se aclara que esto corresponde a un objeto cuyo movimiento es tal que su centro de masa rota alrededor de un eje situado en el punto de contacto con la superficie sobre la cual se desplaza, dicho eje es paralelo a ésta y perpendicular a la dirección en que ocurre el desplazamiento. Se aclara que la dirección de este eje permanece fija. A continuación se transcribe un fragmento, tomado de Wilson *et al.* (2009, p. 278) para ilustrarlo:

Cuando un objeto tiene movimiento tanto traslacional como rotacional, su energía cinética total podría dividirse en partes que reflejen los dos tipos de movimiento. Por ejemplo, para un cilindro que rueda sin resbalar en una superficie horizontal, el movimiento es puramente rotacional relativo al eje instantáneo de rotación (el punto o línea de contacto), que está instantáneamente en reposo. La energía cinética total del cilindro rodante es

$$K = \frac{1}{2} I_i \omega^2$$

donde I_i es el momento de inercia en torno al eje instantáneo. Este momento de inercia alrededor del punto de contacto (nuestro eje) está dado por el teorema de ejes paralelos (ecuación 8.8), $I_i = I_{CM} + MR^2$, donde R es el radio del cilindro.

Entonces,

$$K = \frac{1}{2} I_i \omega^2 = \frac{1}{2} (I_{CM} + MR^2) \omega^2 = \frac{1}{2} I_{CM} \omega^2 + \frac{1}{2} MR^2 \omega^2$$

Sin embargo, como no hay deslizamiento, $v_{CM} = R\omega$, y

$$K = \frac{1}{2} I_{CM} \omega^2 + \frac{1}{2} M v_{CM}^2 \quad (\text{Rodamiento sin resbalar}) \quad (8.13)$$

$$\text{total KE} = \text{rotacional KE} + \text{traslacional KE}$$

Las explicaciones que los autores realizan en la parte principal del texto están acompañadas de imágenes que las ilustran. Éstas complementan la presentación y se articulan coherentemente con el texto. A modo de ejemplo, se consideraron algunas de

ellas, las que se exponen en las figuras 4 (a), (b) y (c) y 5 (a) y (b). La primera es empleada por los autores para mostrar que el centro de masa del cilindro sigue un movimiento rectilíneo y, a su vez, que un punto de la periferia del mismo sigue una trayectoria curva denominada cicloide. En tanto que la segunda, se usa como recurso para mostrar que no todos los puntos del borde de un cilindro en rotación poseen la misma velocidad tangencial. Llama poderosamente la atención la similitud visual de las mismas y del epígrafe que las acompaña. Sobre esta cuestión ya se ha realizado un comentario similar en un apartado anterior de este capítulo, para otro par de imágenes consideradas; las cuales confirmarían, una vez más, lo afirmado por Martínez Bonafé (2008).

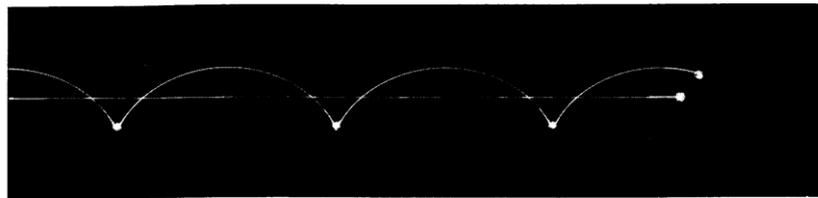


Figura 9-28. Fotografía de exposición de tiempo de una rueda que gira. En esta última se instalaron algunas luces pequeñas, una en el centro y otra en el borde. La segunda traza una curva denominada cicloide.

(a)



Figura 12.19 Fotografía de larga exposición de dos luces situadas en una rueda en movimiento. Una de las luces está situada en el centro y la otra en el borde. Note que el punto del borde cambia de dirección y se encuentra en reposo en el instante en que hace contacto con el suelo.

(b)

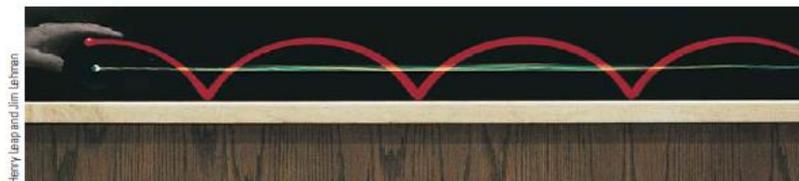


Figura 10.23 Una fuente de luz en el centro de un cilindro en rodamiento y otra en un punto en el borde ilustran las diferentes trayectorias que toman estos dos puntos. El centro se mueve en una línea recta (línea verde), mientras que el punto en el borde se mueve en la trayectoria llamada cicloide (curva roja).

(c)

Figura 4: Imágenes y epígrafes utilizados para explicar las diferencias entre la trayectoria del centro de masas de un cilindro y la de un punto de su borde. Dichas imágenes fueron extraídas de: (a) Resnick *et al.*, (2011, p. 193), (b) Gettys *et al* (2005, p. 285) y (c) Serway y Jewett (2007, p. 291).

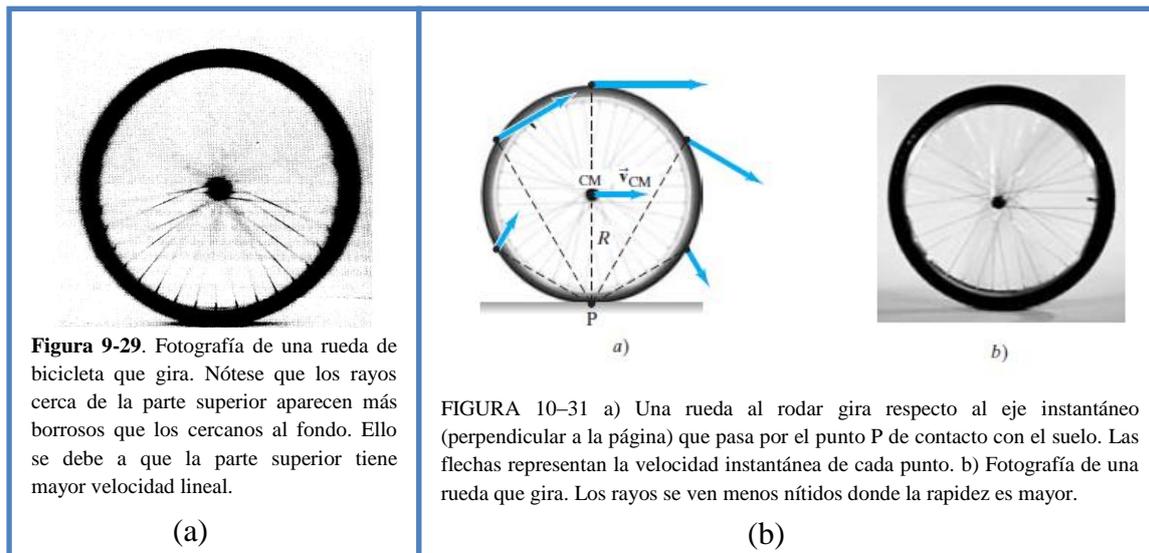


Figura 5: Imagen de una rueda de bicicleta que gira tomada de: (a) Resnick *et al*, (2011, p. 194) y (b) Giancoli (2009, p. 268).

6.1.5.2. Sobre la energía potencial

Se encontraron diferencias sutiles en el tratamiento dado a la energía potencial en los libros inspeccionados. Éstas residen principalmente en el orden de presentación de las fuerzas conservativas y de las energías potenciales. También hay diferencias en la manera en que se conceptualiza a las energías potenciales: en algunos casos como energía debida a la posición, en otros como energía debida a la configuración y también hay libros que utilizan indistintamente ambas definiciones. Además, el nivel de información que permite caracterizar la posición o configuración de un sistema varía de un ejemplar a otro: en algunos ésta es sucinta y en otros, se ofrecen más detalles de manera que al lector no le queden dudas sobre cuál es la variable considerada en la expresión matemática que define a las diferentes energías potenciales consideradas. Al respecto, Jewett (2008c) señala que es engañoso decir que la energía potencial está relacionada con las posiciones de los objetos que están interactuando dentro de un sistema. Advierte que esta afirmación no causa problemas en situaciones mecánicas simples, pero que luego debe ser revisada para el estudio del electromagnetismo. Considera el caso de un dipolo eléctrico en un campo eléctrico o un dipolo magnético

en un campo magnético, cualquiera de los cuales puede girar sin un cambio de posición. Dice que, a pesar de que la posición del centro de rotación del dipolo se mantiene sin cambios, la energía potencial del sistema campo-dipolo cambia, debido a un cambio en la orientación del dipolo. A fin de preparar el terreno para futuras posibilidades, sugiere que, en mecánica, la energía potencial sea definida como aquella que está asociada con la configuración de los objetos que interactúan en un sistema. Esto incluye los cambios en la posición y orientación.

Sin embargo, tal como se analizará seguidamente, los autores, en su mayoría, utilizan las palabras posición o configuración, sin dar muchos detalles sobre a que se refieren con ellas. En todos los libros se define la energía potencial gravitacional mediante la expresión mgh , pero sólo en algunos se establecen los límites de validez de la misma.

En particular, en A y en B, el tratamiento dispensado otorga a la energía potencial una categoría de concepto secundario derivado del trabajo de fuerzas conservativas. En A se establece que una fuerza es conservativa cuando el trabajo que realiza puede ser expresado como la diferencia entre los valores de una función $E_p(x, y, z)$ evaluada en los puntos inicial y final. A dicha función la llaman energía potencial. En el desarrollo que se presenta en dicho ejemplar, se parte del caso general y se obtiene la energía potencial debida a la gravedad como un caso particular. Este planteamiento difiere del utilizado en la mayoría de los otros libros, que siguen el orden inverso. Es decir, en casi todos los demás se inicia con la definición de energía potencial gravitacional, luego energía potencial elástica y en base a las cualidades de éstas se establecen los atributos de las energías potenciales en general y su vínculo con las fuerzas conservativas.

Por otro lado, si bien no se lo afirma explícitamente, en A se considera a la energía potencial como energía de posición: “*la energía potencial es una función de las*

coordinadas tal que la diferencia entre sus valores en las posiciones inicial y final es igual al trabajo efectuado sobre la partícula para moverla de su posición inicial a la final” (Alonso y Finn, 1976, p. 214). Además, se omite el tratamiento del carácter sistémico de la energía potencial, dado que se atribuye este tipo de energía a una partícula. La descripción de este aspecto se realiza en una sección posterior de este capítulo.

Vale aclarar que en la cita anterior, se identifica el receptor del trabajo (la partícula) pero no al agente que efectúa el trabajo (la fuerza conservativa que interviene como consecuencia de la interacción con otra partícula del sistema). Esta definición de energía potencial, que aparece resaltada en el libro mediante letras cursivas y márgenes diferenciados del resto del desarrollo, no está completa dado que no dice nada acerca de la naturaleza de la fuerza implicada. Sin embargo, esta aclaración se realiza en párrafos siguientes, dentro de la misma página, y a diferencia de lo realizado con la cita precedente, no se utilizan para ello recursos que visualmente llamen la atención sobre lo escrito.

En casi todos los textos se indica que la energía potencial es energía asociada a la posición o a la configuración de un sistema. Pueden encontrarse frases tales como: “El término $U=mgy$, se define como la *energía potencial gravitatoria*, la cual depende de la posición de la pelota” (Gettys *et al.*, 2005, p. 189), “Un objeto puede almacenar energía debido a su posición con respecto a algún otro objeto. A esta energía se la llama **energía potencial (EP)** porque en su estado almacenado tiene el potencial de efectuar trabajo” (Hewitt, 2004, p. 107) o “Energía asociada con la posición de los cuerpos en un sistema” (Young y Freedman, 2009, p. 214).

En I, se aclara qué se entiende por configuración de acuerdo al tipo de energía potencial considerada. Esto queda expuesto en la siguiente transcripción:

Como su nombre sugiere, un objeto con energía potencial tiene *potencial* para efectuar trabajo [...]. En todos estos casos, el potencial para efectuar trabajo se deriva de la *posición* o *configuración* del cuerpo. El resorte tiene energía porque está comprimido; el arco, porque está tensado; el agua y la bola, porque se les ha levantado sobre la superficie terrestre (figura 5.12). Por ello, caracterizamos la **energía potencial, U**, como energía de posición o configuración (Wilson *et al.*, 2007, p. 152).

En la cita anterior se desliza que a un objeto puede asociársele energía potencial. Es decir, no se toma en cuenta que la energía potencial es una propiedad compartida por un sistema, pero la discusión del carácter sistémico de la energía se analiza en otra sección de esta tesis. Más avanzado el desarrollo, en lo que respecta específicamente a la energía potencial gravitacional, puede leerse: “Tal vez el tipo más común de energía potencial sea la energía potencial gravitacional. En este caso, posición se refiere a la altura de un objeto sobre cierto punto de referencia, digamos el piso o el suelo” (Wilson *et al.*, 2007, p. 153).

En G, se inicia el abordaje del tema afirmando que: “La energía potencial es energía asociada a la configuración de un sistema, tal como la distancia de separación entre dos cuerpos que se atraen” (Tipler, 1993, p. 141). Una vez desarrollados los conceptos de trabajo, energía cinética y del teorema que vincula ambas magnitudes, presenta un apartado destinado al estudio de la energía potencial, en que la energía potencial se asocia con la configuración del sistema. En él se puede leer:

El trabajo total realizado sobre una partícula es igual a la variación de su energía cinética. Sin embargo, frecuentemente nos interesa el trabajo realizado por un sistema de dos o más partículas. En muchos casos el trabajo realizado por las fuerzas externas sobre un sistema no incrementa su energía cinética, sino que se

almacena como energía potencial, es decir, energía asociada a la configuración del sistema (Tipler, 1993, p. 155).

En E, también se plantea a la energía potencial como energía relacionada a la configuración de un sistema:

La energía potencial U se relaciona a la *configuración* del sistema. Aquí “configuración” significa cómo las partes de un sistema están situadas o dispuestas entre sí (por ejemplo, la compresión o estiramiento del resorte en el sistema de bloque-resorte o la altura de la bola en el sistema de bola-Tierra) (Resnick *et al.*, 2011, pp. 259-260).

En F, también se define a la energía potencial como energía asociada a la configuración, pero a diferencia de lo que pudo observarse en los otros textos en que se la define en estos términos, dan mayores detalles sobre el significado de dicha palabra:

Se encontrará que la energía potencial de un sistema solo se asocia con tipos específicos de fuerzas que actúan entre integrantes de un sistema. La cantidad de energía potencial en el sistema se determina mediante la *configuración* del mismo. Mover los integrantes del sistema a diferentes posiciones o girarlos cambia su configuración y por ende su energía potencial. [...] la cantidad mgy se puede identificar como la **energía potencial gravitacional** U_g [...] Note que la ecuación 7.19 solo es válida para objetos cerca de la superficie de la Tierra, donde g es aproximadamente constante³ (Serway y Jewett, 2007, p. 178).

Y, mediante una nota al pie, se aclaran cual es la condición para que la aceleración de la gravedad pueda ser considerada constante: ³“La suposición de que g es constante es válida en tanto que el desplazamiento vertical del objeto sea pequeño en comparación con el radio de la Tierra” (Serway y Jewett, 2007, p. 178).

En tanto en C, puede leerse:

Veremos ahora la **energía potencial**, es decir, la energía asociada con fuerzas que dependen de la posición o configuración de un objeto en relación con su entorno. Es posible definir varios tipos de energía potencial y cada tipo está asociado con una fuerza conservativa específica [...] El ejemplo más común de energía potencial tal vez sea la *energía potencial gravitacional* [...]

En resumen, para elevar un objeto de masa m hasta una altura h , *se requiere* una cantidad de trabajo igual a mgh . Una vez a la altura h , el objeto tiene la *capacidad* de efectuar una cantidad de trabajo igual a mgh . Podemos entonces afirmar que el trabajo realizado al levantar el objeto ha sido almacenado como energía potencial gravitacional (Giancoli, 2009, p. 186).

En C se presenta una expresión matemática idéntica a la presentada en los demás textos y se afirma que es válida para objetos que se encuentran cerca de la superficie terrestre. En una nota al pie, se aclara que la dependencia con $1/r^2$, la ley de gravitación universal de Newton, se trata en otra sección del capítulo. Una advertencia similar se realiza en I: “La ecuación 5.8 representa la energía potencial gravitacional cerca de la superficie terrestre, donde g se considera constante. Una forma más general de energía potencial gravitacional se presenta en la sección 7.5.” (Wilson *et al.*, 2007, p. 153). En B se menciona en qué condiciones es válida la expresión propuesta, sin embargo no se especifica cómo determinar la energía potencial cuando estas condiciones no se aplican. Esto se puede inferir de la siguiente transcripción: “Para un objeto de masa m que se mueve cerca de la superficie de la Tierra la energía potencial gravitatoria es $U=mgh$ ” (Gettys *et al.*, 2005, p. 197).

En H, en la introducción de la sección que aborda energía, se dice que en mecánica interesan dos tipos de energía: cinética y potencial. La energía cinética se define, como en los demás textos inspeccionados, como la energía que tiene un cuerpo debido a su movimiento. En lo que respecta a la energía potencial, puede leerse:

“Energía potencial U , que es la energía que tiene un sistema en virtud de su posición o condición” (Tippens, 2007, p. 161). En una sección posterior se amplía el desarrollo sobre ambos tipos de energía considerados. Debido a ciertos rasgos de este libro, algunos merecedores de mayor elaboración, se estimó conveniente presentar una breve descripción del tratamiento dado a la energía potencial. La definición de energía potencial presentada en H es:

Con base en lo anterior, la energía potencial U se determina a partir de

$$U = Wh = mgh \text{ Energía potencial (8.7)}$$

donde W y m son, respectivamente, el peso y la masa de un objeto situado a una distancia h arriba de un punto de referencia (Tippens, 2007, p. 164).

Este libro tiene la particularidad de presentar la definición de energía potencial gravitacional como si fuera el único tipo de energía potencial que admite un sistema (no se contempla la existencia de otras energías potenciales diferentes a la gravitacional como por ejemplo la energía potencial elástica o la energía potencial electrostática). Es decir, no se menciona que de acuerdo al tipo de fuerzas con que interactúan los elementos constitutivos del sistema se tendrán diferentes tipos de energías potenciales. Lo expuesto por el autor fomentaría la idea errónea detectada en un número considerable de estudiantes que consideran que la energía potencial se define por la expresión $E_p = mgh$, que no es una definición general de energía potencial (solo expresa la energía potencial gravitacional en función de la altura a la que se encuentra un objeto en relación a cierta configuración del sistema). Por otra parte, no se aclara que esta definición de energía potencial gravitacional es válida para objetos que están próximos a la superficie terrestre en el sistema que comparten con la Tierra (dado que en estas condiciones la aceleración de la gravedad g puede ser considerada constante), cuestión que sí es abordada de manera explícita en sólo tres ejemplares (C, I, F) y se insinúa en uno (B), tal como se ha documentado antes en esta misma sección.

6.1.5.3. Sobre las otras formas de energía que se consideran

Con respecto a otras formas de energía, aparte de las energías cinética y potencial, en seis libros (A, B, C, E, F, J) se menciona el concepto de energía interna. En B esto se realiza cuando se analizan las transferencias de energía entre un sistema y su entorno.

Los autores afirman:

Por el momento, se puede pensar que la energía interna de un sistema es la suma de las energías cinética y potencial de sus moléculas [...]. La conversión de energía mecánica en energía interna descrita anteriormente, está relacionada con la acción de fuerzas no conservativas, por ejemplo, las de fricción. Estos procesos tienen un carácter unidimensional y a menudo se denominan *procesos disipativos*, debido a que la energía mecánica se disipa en energía interna del sistema, que es más inaccesible (Gettys *et al.*, 2005, p.201) .

En C esto se realiza en la sección titulada “La ley de conservación de la energía”. En dicha sección el autor expone que en presencia de fuerzas disipativas se produce calor, que es entendido como una transferencia de energía, en ocasiones llamada energía térmica. Así puede leerse:

De acuerdo con la teoría atómica, la energía térmica representa energía cinética de moléculas que se mueven rápidamente [...] Como la energía térmica representa la energía de átomos y moléculas que constituyen un objeto, a menudo se le llama **energía interna**. Desde el punto de vista atómico, la energía interna puede incluir no sólo la energía cinética de las moléculas, sino también la energía potencial (generalmente de naturaleza eléctrica) debido a las posiciones relativas de los átomos dentro de las moléculas. A un nivel macroscópico, la energía interna corresponde a fuerzas no conservativas como la fricción. Al nivel atómico, sin embargo, la energía es parcialmente cinética y potencial, y las fuerzas correspondientes son conservativas (Giancoli, 2009, p. 196).

En E, en la sección titulada “Limitaciones del teorema de trabajo-energía”. Allí se advierte al lector que dicho teorema conduce a resultados contradictorios cuando los objetos involucrados no son reducibles a partículas. Se analiza el caso de un automóvil que se estrella contra una barrera rígida y pesada de concreto:

Su energía cinética disminuye al chocar, se contrae y se detiene. Sin embargo, otras formas de energía aparte de ella intervienen en la situación. Existe la energía interna que aparece cuando la carrocería del vehículo se dobla y se contrae; parte de ella se manifiesta, por ejemplo, como un incremento de la temperatura, y una parte puede ser transferida al ambiente en forma de calor (Resnick *et al.*, 2011, p. 242).

Posteriormente, en otro capítulo se plantea el interrogante sobre cuál es la naturaleza de la energía interna. Los autores lo responden afirmando que puede ser presentada como la suma de la energía cinética asociada a los movimientos aleatorios de las moléculas y de la energía potencial asociada a las fuerzas entre ellos: $E_{\text{int}} = K_{\text{int}} + U_{\text{int}}$. Luego dicen “En la generalidad de los casos, no habrá que considerar las formas que puede asumir la energía interna; simplemente vemos en ella otra clase de energía del sistema (Resnick *et al.*, 2011, p. 281). Una explicación similar se encontró en Wilson *et al.* (2009, p. 339) pero en una sección que no fue sometida a revisión en esta tesis. En tanto en F, se contempla este tipo de energía en las secciones en que se desarrolla sistemas no aislados, en el que existen variaciones de la energía mecánica debido a la presencia de fuerzas no conservativas que realizan trabajo. Así puede leerse: “A la energía asociada con la temperatura de un sistema se le llama **energía interna**, que se simboliza E_{int} . (En el capítulo 20 se definirá de manera más general la energía interna.)” (Serway y Jewett, 2007, p. 181). Más adelante se sostiene:

Por ejemplo, para un libro que se desliza sobre una superficie horizontal sin fricción, la energía mecánica del sistema libro–superficie se transforma en energía

interna, como se discutió anteriormente. Solo parte de la energía cinética del libro se transforma en energía interna en el libro. El resto aparece como energía interna en la superficie. (Cuando tropieza y se desliza por el suelo de un gimnasio, no solo la piel en sus rodillas se calienta, ¡también lo hace el piso!) Puesto que la fuerza de fricción cinética transforma la energía mecánica de un sistema en energía interna, esta es una fuerza no conservativa (Serway y Jewett, 2007, p. 183).

En el capítulo 7 se presentaron tres métodos para almacenar energía en un sistema: energía cinética, asociada con el movimiento de los integrantes del sistema; energía potencial, determinada por la configuración del sistema y energía interna, que se relaciona con la temperatura del sistema (Serway y Jewett, 2007, p. 195).

En J, también se hace mención a la energía interna. Los autores van haciendo ampliaciones sucesivas del teorema de trabajo-energía cinética hasta incluir el caso en el que la energía mecánica de un sistema no se conserva, en dicho contexto plantean la necesidad de incluir otro tipo de energía, la que presentan vinculada a la temperatura:

Las fuerzas no conservativas no pueden representarse en términos de energía potencial; no obstante, podemos describir sus efectos en términos de energías distintas de la cinética y la potencial. Cuando un automóvil con frenos bloqueados se derrapa hasta detenerse, se calientan los neumáticos y el camino. La energía asociada a este cambio en el estado de los materiales se denomina **energía interna**. Cuando se eleva la temperatura de un cuerpo, aumenta su energía interna; si se reduce su temperatura, disminuye su energía interna (Young y Freedman, 2009, p. 231).

Así, en G, en la introducción del capítulo de trabajo y energía, puede leerse: “Existen muchas formas de energía [...] La energía térmica es energía asociada al movimiento aleatorio de las moléculas dentro de un sistema y está íntimamente relacionada con su temperatura” (Tipler, 1993, p. 141). Cabe aclarar aquí que el autor

destina una sección del capítulo de conservación de la energía al análisis de otras formas de energía, principalmente describe la energía térmica. En ningún momento menciona el concepto de energía interna. Sin embargo, el tratamiento dispensado a la energía térmica es muy similar al que en los textos citados precedentemente se otorgó a la energía interna. De esto se puede inferir que se denota con nombres diferentes a conceptos que, en esencia, son tratados como equivalentes. Mayores detalles al respecto se ofrecen en otro capítulo de esta tesis.

Vale la pena mencionar que en A es el único ejemplar en el que se describe el concepto de energía propia de un sistema. La misma se define como la “suma de las energías cinéticas de las partículas relativas a un observador inercial y su energía potencial interna, la cual, como lo mostramos antes, es (bajo nuestra suposición) independiente del sistema de referencia” (Alonso y Finn, 1976, p. 257). Luego aclaran que si el sistema está formado por más de dos partículas el término de energía potencial se obtiene sumando las energías potenciales de todos los pares de partículas que se formen.

Además, en los libros de texto se consideran otras formas de energía pero sin describirlas en profundidad. Por ejemplo en D, se mencionan varios tipos de energía. Así, en diferentes secciones del capítulo pueden leerse frases como las siguientes:

La energía química de los combustibles también es energía potencial, debida a las posiciones relativas de los átomos en las moléculas de combustible: es energía de posición desde el punto de vista microscópico. Esa energía caracteriza los combustibles fósiles, los acumuladores eléctricos y el alimento que ingerimos. Está disponible cuando se reacomodan los átomos, esto es, cuando se produce un cambio químico. Cualquier potencia que pueda efectuar trabajo por medio de acciones químicas posee energía potencial (Hewitt, 2004, p. 107).

Unas páginas más adelante, el autor, en primer lugar, pone énfasis en resaltar el rol del trabajo como mecanismo de transferencia de energía en general y no sólo de energía cinética. En segundo lugar, vuelve a mencionar otras formas de energía. Sin embargo, desliza la idea de que todas las formas de energía pueden ser interpretadas como algún tipo de energía cinética o potencial.

El teorema de trabajo y energía se aplica a más que cambios de la energía cinética.

El trabajo puede cambiar la energía potencial de un dispositivo mecánico, la energía térmica de un sistema térmico, o la energía eléctrica en un aparato eléctrico [...]

La energía cinética y la energía potencial son dos entre las muchas formas de energía, y son la base de otras como la energía química, la energía nuclear, el sonido y la luz. La energía cinética promedio del movimiento molecular aleatorio se relaciona con la temperatura; la energía potencial de las cargas eléctricas con el voltaje y las energías cinética y potencial del aire en vibración definen la intensidad del sonido. Hasta la luz se origina en el movimiento de los electrones dentro de los átomos. Toda forma de energía se puede transformar en cualquier otra forma (Hewitt, 2004, p. 110).

Algo similar ocurre en I, los autores mencionan varios tipos de energía y además contemplan que éstas se pueden reducir a energías cinética y potencial:

La energía total siempre se conserva. En su estudio de la física, el lector conocerá otras formas de energía, como las energías térmica, eléctrica, nuclear y química. En general, en los niveles microscópico y submicroscópico, estas formas de energía se pueden describir en términos de energía cinética y energía potencial. Asimismo, aprenderá que la masa es una forma de energía y que la ley de conservación de la energía debe tomar en cuenta esta forma para aplicarse al análisis de las reacciones nucleares (Wilson *et al.*, 2009, p.164)

Asimismo, en I los autores mencionan otros tipos de energía además de la energía cinética y de la energía potencial, aunque no profundizan en esa dirección. Por ejemplo; “La energía existe en varias formas: hay energía mecánica, química, eléctrica, calorífica, nuclear, etc.” (Wilson *et al.*, 2007, p. 141). Y en el contexto de la resolución de un problema en el que aparentemente la energía mecánica no se conserva, mencionan la energía térmica: “...Cuando el líquido fluye de un contenedor al otro, a causa de la fricción interna y de la fricción contra las paredes, la mitad de la energía potencial se convierte en calor (energía térmica), que se transfiere a los alrededores [...]” (Wilson *et al.*, 2007, p. 156).

Similarmente, en J, en el tratamiento de potencia, se menciona a la energía eléctrica:

El watt es una unidad común de potencia *eléctrica*; una bombilla eléctrica de 100 W convierte 100 J de energía eléctrica en luz y calor cada segundo. Sin embargo, los watts no son inherentemente eléctricos. Una bombilla podría especificarse en términos de caballos de potencia; mientras que algunos fabricantes de automóviles especifican sus motores en términos de kilowatts (Young y Freedman, 2009, p. 199).

6.1.6. Acerca de la diferenciación entre tipos de energía y fuentes

En ninguno de los libros inspeccionados se encontraron frases que tengan por objetivo aclarar las confusiones frecuentes entre tipos de energía y sus fuentes y que fue reportado desde la investigación educativa (Carr y Kirkwood, 1988; Solbes, Guisasola y Tarín, 2009). Solamente en D se aborda el tema fuentes de energía. En él se expone que prácticamente todas las formas de energía provienen del Sol, tal como se nota en la siguiente cita:

A excepción de la energía nuclear y la geotérmica, la fuente de prácticamente toda nuestra energía es el Sol. Esto incluye la energía que obtenemos de la combustión del petróleo, del carbón, del gas natural y de la madera, porque estos materiales son el resultado de la fotosíntesis, proceso biológico que incorpora la energía radiante al tejido vegetal.

La luz solar también se puede transformar en forma directa en electricidad mediante celdas fotovoltaicas, como las de calculadoras solares. También se usa la radiación solar, en forma indirecta, para generar electricidad. La luz solar evapora agua, que después cae como lluvia, la lluvia corre por los ríos y hace girar las norias, o los turbogeneradores hidráulicos cuando regresa al mar.

Hasta el viento, producido por calentamientos desiguales de la superficie terrestre, es una forma de energía solar [...] (Hewitt, 2004, p. 118).

6. 1.7. Acerca de la explicitación del carácter relativo de la energía

Se han encontrado menciones al carácter relativo de la energía en casi todos los textos inspeccionados (sólo A no hace alusiones explícitas sobre esta característica en el capítulo en que se introducen los conceptos de trabajo y energía de una partícula, se las reserva para el capítulo dinámica de un sistema de partículas en la sección titulada Conservación de la energía para un sistema de partículas). La tendencia general observada es circunscribir mayoritariamente el carácter relativo de la energía sólo a la energía potencial (en A, D, E, G y J se menciona que la energía cinética goza de las mismas propiedades). Desde la investigación educativa se alertó que esto repercute en la enseñanza del concepto de energía en términos científicos. “Tampoco tiene sentido pensar que es posible determinar el valor absoluto de la energía de un sistema; solo podemos determinar sus variaciones cuando tiene lugar un determinado *proceso*” (Doménech *at al.*, 2003, p. 296). Estos investigadores señalan además que la práctica

generalizada de usar valores relativos (correspondientes a asignar arbitrariamente energía cero a cierta configuración) puede conducir a los alumnos a concebir como absolutos los valores manipulados, lo que favorecería una interpretación de la energía como algo que poseen los objetos.

En A, las afirmaciones que realizan los autores sobre este aspecto de la energía no son explícitas. Si bien exponen que en la definición de la energía potencial siempre interviene una constante arbitraria y que el valor de ésta puede elegirse a conveniencia, no subrayan que los valores absolutos de la energía en sí mismos no tienen importancia sino que son las variaciones de energía las que pueden ser interpretadas físicamente. Sin embargo, cuando se aborda la conservación de la energía en sistemas de muchas partículas, los autores afirman:

Dado que la energía cinética depende de la velocidad, el valor de la energía cinética depende del sistema de referencia usado para discutir el movimiento del sistema. Llamaremos *energía cinética interna* $E_{k,CM}$ a la energía cinética referida al centro de masa. La energía potencial interna que depende únicamente de la distancia entre las partículas, tiene el mismo valor en todos los sistemas de referencia (como se explicó antes) y, por tanto, definiremos la energía interna del sistema como la suma de las energías cinética y potencial internas (Alonso y Finn, 1976, p. 259).

Los siguientes fragmentos, permiten inferir cuál es la postura asumida por los autores de los otros libros analizados. La tendencia es aclarar la dependencia de los valores de la energía potencial con el sistema de referencia elegido y en la mayoría de los casos se especifica que “sólo el *cambio* en energía potencial es físicamente significativo” (Serway y Jewett, 2009, p. 184). Se citan algunos fragmentos para ilustrar esta tendencia. Por ejemplo: “La elección de configuración de referencia es completamente arbitraria porque la cantidad importante es la *diferencia* en energía

potencial, y esta diferencia es independiente de la elección de la configuración de referencia” (Serway y Jewett, 2007, p.179)

La energía potencial depende de la elección de un nivel de referencia específico. La energía potencial gravitacional en el caso de un avión es muy diferente cuando se mide respecto a la cima de una montaña, un rascacielos o el nivel del mar. La capacidad de realizar trabajo es mucho mayor si el avión cae al nivel del mar. La energía potencial tiene un significado físico únicamente cuando se establece un nivel de referencia. (Tippens, 2007, p. 165).

Es importante observar que sólo los cambios o diferencias de la energía potencial son relevantes. El origen de la energía potencial puede elegirse en cualquier punto, que se denominará punto de referencia. [...] Aunque el valor de la energía potencial depende de la elección del origen ($y=0$), los cambios en la energía potencial no dependen de esta elección (Gettys *et al.*, 2005, p. 191).

La energía potencial gravitacional depende de la altura vertical del objeto sobre algún nivel de referencia: $U = mgy$. [...] Lo que es físicamente importante en cualquier situación es el *cambio* en la energía potencial, ΔU , porque esto es lo que está relacionado con el trabajo efectuado; y ΔU es lo que se puede medir. Por ende elegimos medir y desde cualquier punto de referencia que sea conveniente; sin embargo, debemos elegir el punto de referencia al principio y ser consistentes a lo largo de todo el cálculo. El *cambio* en la energía potencial entre dos puntos cualesquiera no depende de esta elección (Giancoli, 2009, p. 187).

En D, se acentúa el carácter relativo de la energía potencial, incluyendo otras energías potenciales aparte de la gravitacional, tal como se lee en la siguiente cita:

La energía potencial, sea gravitacional o cualquiera otra, tiene importancia sólo cuando cambia, cuando efectúa trabajo o se transforma en energía de alguna otra forma.[...] La energía potencial *total* que tenga la pelota cuando se elevó, respecto a algún nivel de referencia no importa. Lo que importa es la cantidad de energía

potencial que se convierte en alguna otra forma. Sólo tienen significado los cambios de energía potencial (Hewitt, 2004, p. 108).

En E se insinúa el carácter relativo de la energía cinética en la sección en que se trata la energía en las colisiones. En este contexto se menciona que las energías cinéticas inicial y final totales del sistema de dos cuerpos son iguales en al menos dos marcos de referencia (el del centro de masa y el del laboratorio), con lo cual el lector puede inferir que el valor de la energía cinética depende del sistema de referencia adoptado. También esto se contempla en la sección en que se analiza el teorema de trabajo-energía y su dependencia con los marcos de referencia. En palabras de los autores: “Aun cuando los observadores obtengan diferentes valores numéricos en su respectivo marco de referencia, concordarán en que $W=\Delta K$. El teorema de trabajo-energía, es un ejemplo de una ley invariante de la física” (Resnick *et al.*, 2011, p. 241). En J, al abordar el teorema de trabajo energía cinética se encontró una mención similar: “los valores de W_{tot} y $K_2 - K_1$ podrían diferir de un marco inercial a otro (porque el desplazamiento y la rapidez de un cuerpo pueden ser diferentes en diferentes marcos)” (Young y Freedman, 2009, p. 188). En tanto en D, también se encontró una referencia:

La cantidad de energía cinética, como la rapidez, depende del marco de referencia desde donde se mide. Por ejemplo, cuando vas en un auto veloz tienes energía cinética cero en relación con él, pero tienes bastante energía cinética en relación con el asfalto (Hewitt, 2004, p. 109).

En I, en un recuadro que acompaña al texto principal y bajo el título “Sugerencia para resolver problemas”, puede leerse:

La posición de referencia x_0 para determinar el cambio de longitud de un resorte es arbitraria y suele elegirse por conveniencia. *La cantidad importante al calcular trabajo es la diferencia de posición, Δx , o el cambio neto de longitud del resorte respecto a su longitud sin estirar* (Wilson *et al.*, 2007, p. 147).

Los autores remarcan que sólo importan los cambios en las longitudes del resorte, pero sin decir nada acerca de que esto ocurre debido a que la fuerza ejercida por el resorte es una fuerza conservativa y por tanto tiene asociada una energía potencial, y que está es relativa al sistema de referencia. En cambio, sí se indica explícitamente el carácter relativo de la energía potencial gravitacional, tal como los autores lo explican en la parte principal del texto y que también se replica en el epígrafe de una de las figuras que complementa el texto. Esto puede leerse en la siguiente cita, que corresponde al epígrafe mencionado:

FIGURA 5.16 Punto de referencia y cambio de energía potencial

a) La selección del punto de referencia (altura cero) es arbitraria y podría causar una energía potencial negativa. En un caso así, decimos que el objeto está en un pozo de energía potencial. b) Podemos evitar el pozo escogiendo una nueva referencia cero. La diferencia o *cambio* de energía potencial (ΔU) asociada con las dos posiciones es la misma, sea cual fuere el punto de referencia. No hay diferencia física, aunque haya dos sistemas de coordenadas y dos puntos de referencia cero distintos (Wilson *et al.*, 2007, p. 155).

En J, los autores realizan una llamada de atención para advertir al lector sobre el carácter relativo de la energía potencial. El contenido de la misma es el siguiente:

CUIDADO Elija “altura cero” siempre que desee. En lo que se refiere a la energía potencial gravitacional, quizá elijamos la altura como $y=0$. Si desplazamos el origen de y , los valores de y_1 y y_2 cambiarán, al igual que los valores de $U_{\text{grav},1}$ y $U_{\text{grav},2}$; sin embargo, tal cambio no tiene efecto en la *diferencia* del peso $y_2 - y_1$ ni en la *diferencia* de la energía potencial gravitacional $U_{\text{grav},2} - U_{\text{grav},1} = mg(y_2 - y_1)$. Como veremos en el siguiente ejemplo, la cantidad que tiene importancia física no es el valor de U_{grav} en cierto punto, sino la *diferencia* en U_{grav} entre 2 puntos. Así, podemos definir U_{grav} como cero en cualquier punto sin afectar la física de la situación (Young y Freedman, 2009, p. 216).

En este último ejemplar, en varios de los problemas resueltos se encontraron alusiones a que sólo los cambios de energía son importantes. Se cita un fragmento de la resolución de uno de ellos a modo de ilustración: “...(Al igual que en el ejemplo 7.7, ignoramos la energía potencial gravitacional porque no cambia la altura del deslizador. Por lo tanto, sólo tenemos energía potencial, así que $U = U_{el} = \frac{1}{2}kx^2$)” (Young y Freedman, 2009, p. 226). Hay que resaltar que hay un pequeño error u omisión en el fragmento anterior, debería decir “sólo tenemos energía potencial elástica” para evitar ambigüedades. No obstante, esa vaguedad desaparece cuando los autores utilizan la expresión $U = U_{el} = \frac{1}{2}kx^2$ del lenguaje simbólico para formular la idea. Es decir, en este ejemplo se evidencia que el lenguaje lingüístico y el simbólico no siempre proveen la misma información.

6. 1.8. Acerca de la explicitación del carácter sistémico de la energía

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.

En A, los autores no son explícitos acerca del carácter sistémico de la energía en general y de la energía potencial en particular. Se ha decidido incluir este ejemplar entre aquellos que no consideran el carácter sistémico de la energía, dado que las menciones que realizan los autores, y que podrían ser interpretadas como un intento en esta dirección, son poco claras y deben leerse entre líneas. Además, el tratamiento dado en el resto del capítulo, que asocia energía cinética y energía potencial a una partícula, opaca estos intentos de aclarar el carácter sistémico de la energía. Es decir, los autores abordan

el concepto de energía potencial para una sola partícula, y al lector le queda la tarea de inferir que dicha partícula adquiere energía potencial, gravitacional por ejemplo, porque está inmersa en el campo gravitatorio conservativo de la Tierra. Es decir, no se establece explícitamente que a la partícula se le puede asociar energía potencial porque está interactuando con la Tierra. Esta manera de abordar el tema puede acarrear problemas, porque el reconocer que la Tierra es el otro elemento que forma parte del sistema podría no resultar autoevidente para un lector novato.

La única frase encontrada en A, que puede ser interpretada como una mención sumamente implícita del carácter sistémico de la energía potencial, es la siguiente:

Estrictamente hablando la energía potencial E_p debe depender tanto de las coordenadas de la partícula considerada, como de las coordenadas de todas las otras partículas del universo que interactúan con ella. Sin embargo, como mencionamos en el capítulo 7 cuando tratábamos de la dinámica de una partícula, suponemos el resto del universo esencialmente fijo, y así solamente las coordenadas de la partícula considerada aparecen en E_p (Alonso y Finn, 1976, p. 214).

Algo similar pudo observarse en B. Los autores no explicitan el carácter sistémico de la energía en general y en particular de las energías potenciales gravitatoria y elástica. Pueden leerse frases como “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 *et al.*, 2005, p. 191) y “La energía potencial asociada con esta fuerza se denomina energía potencial elástica del resorte. La figura 9.4a) muestra la disposición típica de un resorte con uno de sus extremos unido a un soporte rígido y el otro al bloque móvil” (Gettys *et al.*, 2005, p. 192). En la primera de las frases citadas se asume que la energía potencial gravitatoria es del cuerpo y no del sistema que éste comparte con la Tierra. De manera análoga, en

la segunda de las frases, se desliza que la energía potencial elástica es del resorte y no del sistema que éste comparte con el bloque. En D puede leerse: “La cantidad de energía potencial gravitacional que posee un objeto elevado es igual al trabajo realizado para elevarlo en contra de la gravedad” (Hewitt, 2004, p. 107). El tratamiento dado en I reviste características semejantes. El siguiente fragmento da cuenta de ello:

Sin embargo, sea que 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 (ΔU), igual al trabajo efectuado *por la fuerza aplicada* para comprimir (o estirar) el resorte:[...](Wilson *et al.*, 2007, p. 152).

Estas características de los libros de texto de Física fueron señaladas por Sefton (2004), quien 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, 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. Sin la Tierra no habría energía potencial.

En contrapartida, en los demás ejemplares analizados, se destaca el carácter sistémico de la energía potencial. Por ejemplo, en C se afirma: “Note que la energía potencial está asociada con la fuerza de la gravedad entre la Tierra y la masa m . Por consiguiente, U representa la energía potencial gravitacional, no únicamente de la masa m sola, sino del sistema masa-Tierra” (Giancoli, 2009, p. 186). Luego, el autor insiste en el carácter sistémico de la energía potencial y además define qué es un sistema y establece que la elección del mismo es arbitraria.

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).

En J, los autores realizan una llamada de atención al lector, en la que se establece que la energía potencial gravitacional es una propiedad sistémica:

CUIDADO ¿A qué cuerpo “pertenece” la energía potencial gravitacional? *No* es correcto llamar a $U_{\text{grav}}=mgy$ 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 $U_{\text{grav}}=mgy$ intervienen características tanto del cuerpo (su masa m) como de la Tierra (el valor de g) (Young y Freedman, 2009, p. 215).

Y luego, los autores se refieren al caso de la energía potencial elástica:

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 transcripción precedente se desprenden dos cuestiones. En primer lugar, 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. Este aspecto será analizado en otra sección de esta tesis. En segundo lugar, atribuyen el carácter sistémico sólo a la energía potencial gravitacional. La energía potencial elástica también es una propiedad compartida por los elementos del sistema. El resorte aislado no puede tener energía potencial. Para que tenga sentido hablar de energías potenciales, el sistema no puede estar conformado por un solo elemento. Varios investigadores han señalado que la energía potencial es una propiedad de un sistema, no de un objeto. Jewett (2008c) afirma que la energía potencial se asocia con una fuerza que actúa entre los miembros de un sistema por lo que no puede asociarse a uno de los miembros solamente. Sefton (2004) agrega a esto que la energía potencial se puede definir solo para un sistema que consta de dos o más partes, es decir, el sistema debe tener alguna estructura, una partícula aislada no puede tener energía potencial. Así, en el planteo que se realiza en J, el resorte por sí solo no almacena energía potencial. 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.

Por su parte, en J se advierte:

Para que la ecuación (7.12) sea estrictamente correcta, el resorte ideal *no debe tener masa*; si la tiene, también tendrá energía cinética al moverse las espiras del resorte. Podemos despreocupar la energía cinética del resorte, si su masa es mucho menor que la masa m del cuerpo conectado al resorte (Young y Freedman, 2009, p. 224).

En C sólo se menciona la pequeñez de la masa del resorte: “Considere un resorte en espiral sencillo como el de la figura 8-6, cuya masa es tan pequeña que podemos despreciarla” (Giancoli, 2009, p. 188). Lo cual está en consonancia con lo reportado por otros investigadores que advierten que en los libros de texto no siempre se explicitan las consecuencias físicas de las hipótesis simplificadoras que se utilizan (Marino *et al.*, 2016). Sin embargo, unas páginas después, esta situación se revierte cuando se aborda la conservación de la energía mecánica y, mediante una nota al pie, se esgrimen las razones de esta condición:

Para un objeto que se mueve bajo la influencia de la gravedad terrestre, por lo general puede despreciarse la energía cinética de la Tierra. Por ejemplo, para una masa que oscila en el extremo de un resorte, la masa de éste y, por consiguiente, su energía cinética pueden a menudo ignorarse (Giancoli, 2009, p. 190).

En todos los ejemplares, cuando se aborda el trabajo realizado por un resorte y la energía potencial elástica, se menciona que el desplazamiento x de la posición de equilibrio debe ser pequeño para que obedezca la ley de Hooke. La referencia a esta condición se contempla en todos los libros inspeccionados, aunque sin establecer criterios de comparación (no se especifican órdenes de magnitud para los desplazamientos ni los elementos con los cuales se realiza la comparación). Concordando con resultados de otras investigaciones relacionadas con óptica física y óptica geométrica (Giacosa *et al.*, 2019; Giacosa *et al.*, 2018).

En H también se realiza una mención sobre el carácter sistémico de la energía potencial. El siguiente fragmento así lo muestra:

Por tanto, un objeto en sí no puede tener energía potencial; más bien, esta última ha de pertenecer al *sistema*. Una caja que se mantiene a cierta distancia sobre la superficie de la Tierra es un ejemplo de un sistema con energía potencial. Si se le

soltara, nuestro planeta ejercería una fuerza sobre ella; sin la Tierra no habría energía potencial (Tippens, 2007, p. 161).

Vale aclarar que el autor utiliza la noción de sistema sin haberla definido y, pese a la afirmación hecha citada previamente, en otras secciones del libro se utilizan frases descuidadas en las que la energía potencial se presenta como una propiedad que tienen los objetos. Por ejemplo, en la siguiente transcripción se ha resaltado en negritas la frase que induce a pensar en la energía potencial como una propiedad de un objeto:

Por tanto, **el cuerpo tiene una energía potencial** igual en magnitud al trabajo externo necesario para elevarlo. Esta energía no proviene del sistema Tierra-cuerpo, sino que resulta del trabajo realizado sobre el sistema por un agente externo. Solo una fuerza externa, como F en la figura 8.6 o la fricción, puede añadir o extraer energía del sistema formado por el cuerpo y la Tierra (Tippens, 2007, p. 164).

En otros dos libros (E, G) también se utilizan frases similares a esta en las que puede leerse que la energía potencial es una propiedad de un objeto, sin embargo, los autores previamente han argumentado por qué esto es una práctica habitual y en cierto modo justificada. Las siguientes transcripciones dan cuenta de ello:

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 relacionemos 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 *et al.*, 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). Por simplicidad, muchas veces nos referimos a la energía potencial del sistema botella-Tierra simplemente como la energía potencial de la botella (Tipler, 1993, p. 158).

No se ha encontrado ninguna referencia al carácter sistémico de la energía cinética. Se concuerda con Doménech *et al.* (2003), cuando 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: la energía cinética es una *propiedad del sistema* constituido por ese conjunto de objetos. En consecuencia, se debe insistir en que la energía cinética también tiene el mismo carácter sistémico que la energía potencial.

6.1.9. Acerca de la explicitación del sistema en la discusión

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, 1992a). Elegir un

sistema de interés e identificar las interacciones del sistema con su entorno son pasos cruciales en la aplicación de la relación entre trabajo y energía (Lindsey, Heron y Shaffer, 2012). A pesar de los señalamientos hechos, se encontraron relativamente pocas alusiones a los sistemas en las secciones que se ocupan del estudio de la energía. Más adelante, cuando se aborda la conservación de la energía, estos aspectos se consideran con mayor frecuencia. Mayores detalles se describen en los dos capítulos siguientes de esta tesis.

En este apartado, se citan solamente algunas de las menciones halladas realizadas en el contexto de energía y trabajo. En A y en D no se encontraron alusiones a cuáles son los sistemas involucrados en los desarrollos que se presentan. En B, la mayor parte de las veces no se menciona nada acerca de los sistemas considerados, por ello se lo incluyó en el grupo de los que no los identifican. Solamente pudieron rastrearse dos menciones: interesa citar la primera, la otra se analiza en otro capítulo de esta tesis. En la sección titulada “Sistemas conservativos en una dimensión”, puede leerse:

Las fuerzas que realizan trabajo sobre un objeto, son ejercidas por las otras partes del sistema que contiene al objeto y su entorno. 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 C no se encontraron alusiones al sistema en la presentación que se hace de trabajo y energía, recién en secciones posteriores del libro el autor los contempla al abordar la conservación de la energía. Esto se amplía en otro capítulo de esta tesis.

En tanto que en E, en reiteradas ocasiones se especifica cuáles son los sistemas sobre los que se discute. En una sección previa de esta tesis, en que se analizó la consideración o no del carácter sistémico de la energía por parte de los autores, se incluyó un fragmento en el que se aclaraba que, por ejemplo, para el análisis de objetos en caída libre, el

sistema está conformado por el objeto en caída y la Tierra. La mención de este sistema y del sistema bloque-resorte se realiza de manera reiterada. Así puede leerse:

Decidimos que la posición de referencia x_0 del bloque en el sistema de bloque-resorte de la figura 12.1 sea aquella en la que el resorte se encuentre en estado relajado ($x_0=0$) y definimos que la energía potencial del sistema es cero cuando el bloque está en ese sitio [$U(x)=0$] (Resnick *et al.*, 2011, p. 260).

Luego, cuando se aborda la conservación de la energía mecánica, se especifica que el sistema es un sistema aislado. Se presentan varios problemas resueltos mediante conservación de la energía, que ya se habían resuelto en capítulos anteriores utilizando conceptos de dinámica, para mostrar la equivalencia de los resultados. Sobre esto se presentó una descripción en el capítulo previo de esta tesis. Mayores detalles sobre la especificación de los sistemas involucrados al aplicar la conservación de la energía en la resolución de problemas se ofrecen en el último capítulo de esta tesis.

En F, todo el desarrollo que realizan los autores está traspasado por la noción de sistemas. La identificación de los mismos 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. Se citará una de tales alusiones:

[...] “Un resultado posible de hacer trabajo sobre un sistema es que el sistema cambia su rapidez. En esta sección se investiga esta situación y se introduce el primer tipo de energía que un sistema puede tener, llamada *energía cinética*.

Considere un sistema que consiste de un solo objeto [...] (Serway y Jewett, 2007, p. 174).

Análogamente, uno de los ejercicios propuestos permite mostrar como la elección del sistema condiciona los tipos de energía presentes en él. Por ejemplo, si el sistema está formado por la bola y la Tierra, ese sistema tendrá energía potencial gravitacional y energía cinética y dado que la fuerza que aplica el resorte es externa al sistema, se

tendrá que contabilizar el trabajo que éste efectúa sobre el sistema. En cambio si la elección del sistema incluye el resorte, la bola y la Tierra, no hay fuerza externa actuando sobre el mismo y los intercambios energéticos se explican mediante la consideración de la energía potencial gravitacional, energía potencial elástica y energía cinética. Dicho ejercicio se transcribe a continuación:

Pregunta rápida 7.7 Una bola se conecta a un resorte ligero suspendido verticalmente, como se muestra en la figura 7.17. Cuando se jala hacia abajo desde su posición de equilibrio y se libera, la bola oscila arriba y abajo. **i)** En el sistema de *la bola, el resorte y la Tierra*, ¿qué formas de energía existen durante el movimiento? a) cinética y potencial elástica, b) cinética y potencial gravitacional, c) cinética, potencial elástica y potencial gravitacional, d) potencial elástica y potencial gravitacional. **ii)** En el sistema de *la bola y el resorte*, ¿qué formas de energía existen durante el movimiento? Elija de las mismas posibilidades de la a) a la d) (Serway y Jewett, 2007, p. 181).

En G, se registraron mayor cantidad de referencias a los sistemas en el capítulo destinado a la conservación de la energía. En el desarrollo dispensado al concepto de energía cinética, si bien no se identifica el sistema, 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. Por su parte, al desarrollar el concepto de energía potencial se encontraron varias alusiones; se citan una de ellas, cuyo objetivo es mostrar la dependencia de los valores de la energía potencial con el sistema de referencia. Así puede leerse:

Ejercicio. Una muchacha de 55 kg se encuentra en un balcón a 8 m por encima del suelo ¿Cuál es la energía potencial del sistema muchacha-Tierra si (a) U se elige cero en el suelo; (b) U se elige cero a 4 m por encima del suelo; y (c) U se elige cero 10 m por encima del suelo? (Tipler, 1993, p. 157).

En la misma línea, cuando se analiza el carácter conservativo de la fuerza de un resorte estirado (o comprimido) sobre un bloque unido a éste, también se identifica el sistema. El autor plantea el caso de una fuerza aplicada, que desplaza el bloque de la posición de equilibrio del resorte (el trabajo realizado por la fuerza del resorte es negativo) y, que luego es retirada (el trabajo realizado por la fuerza del resorte es positivo). Concluye que la fuerza del resorte es una fuerza conservativa. Finaliza el análisis afirmando: “Este trabajo se almacena en forma de energía potencial en el sistema muelle-bloque” (Tipler, 1993, p. 158).

Y la última cita que se incluirá tomada de este ejemplar es la siguiente: “La figura 6.27 muestra un gráfico de $U = \frac{1}{2}kx^2$ en función del desplazamiento x para un sistema de bloque-muelle” (Tipler, 1993, p. 160). Además, en los problemas resueltos siempre se explicita el sistema y se determina si las fuerzas presentes son internas o externas.

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. Además, como ya se ha mencionado, se usa la palabra sin haberla definido. Debido a este uso poco riguroso, se optó por incluir este libro entre los que no explicitan los sistemas. Se transcribe a continuación esta mención:

La fuerza externa F necesaria para elevar el cuerpo debe ser por lo menos igual al peso W . Entonces, el trabajo realizado por el sistema está dado por

$$\text{Trabajo} = Wh = mgh$$

Esta cantidad de trabajo también puede ser efectuada *por* el cuerpo después de caer una distancia h . Por tanto, el cuerpo tiene una energía potencial igual en magnitud al trabajo externo necesario para elevarlo. Esta energía no proviene del sistema Tierra-cuerpo, sino que resulta del trabajo realizado sobre el sistema por un agente

externo. Solo una fuerza *externa*, como F en la figura 8.6 o la fricción, puede añadir o extraer energía del sistema formado por el cuerpo y la Tierra (Tippens, 2007, p. 164).

Un aspecto a resaltar en este libro es el hecho de que utiliza la letra W para identificar el peso de un objeto, mientras que en los demás libros se la utiliza para denotar al trabajo (debido a la primera letra de su nombre en inglés). Además pudo observarse que ni en el desarrollo de los temas ni en los ejemplos que se proponen resueltos se utiliza símbolo alguno para el trabajo: siempre se escribe la palabra trabajo en las expresiones que se plantean (se mezcla el sistema lingüístico y el simbólico).

Debido a que el tratamiento dado a los sistemas en I es similar, también se optó por incluirlo entre aquellos libros en donde no se explicita el sistema de interés. En dicho ejemplar, 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. No se especifica el sistema involucrado, el lector debe suponer que el sistema está constituido por un único elemento: el bloque. En la introducción de energía potencial puede leerse:

En muchas situaciones, parece que se almacena energía en un sistema para recuperarse después. Por ejemplo, hay que efectuar trabajo para levantar una roca pesada sobre la cabeza. Parece razonable que, al levantar la roca en el aire, se está almacenando energía en el sistema, la cual se convierte después en energía cinética al dejar caer la roca (Young y Freedman, 2009, p. 214).

La cita precedente revela que los autores utilizan la palabra sistema pero sin identificarlo. Por ello, se decidió reunir a este ejemplar con los que no consideran los

sistemas subyacentes. En secciones posteriores, al plantear la conservación de la energía para los casos en que actúan las fuerzas conservativas gravitacional y/o elástica, sí se especifican los sistemas. Esto se amplía en otro capítulo de esta tesis.

6.2. Conceptualización del trabajo

La síntesis de los resultados que permiten caracterizar esta variable, se presenta en la Tabla V. Obsérvese que algunas de las sub dimensiones no son excluyentes.

Sub dimensiones			Libros de texto										
			A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	Tot
V4.1. Presentación de definición y formas de presentación	V4.1.1. Se presenta	V4.1.1.1. Definición operacional	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	10
		V4.1.1.2. Transferencia de energía				x	x	x	x		x		5
	V4.1.2. No se presenta												0
V4.2. Diferenciación de las connotaciones del término	V4.2.1. Se presentan			x	x	x	x	x	x		x	x	8
	V4.2.2. No se presentan		x							x			2
V4.3. Interpretación del desplazamiento que interviene en la definición	V4.3.1. Del objeto		x	x	x	x					x	x	6
	V4.3.2. Del punto de aplicación de la fuerza						x	x	x				3
	V4.3.3. No se especifica									x			1
V4.4. Explicitación de los límites de validez de la definición operacional	V4.4.1. Se explicita		x		x			x				x	4
	V4.4.2. No se explicita			x		x	x		x	x	x		6
V4.5. Forma de obtener el trabajo neto	V4.5.1. Como la suma de los trabajos realizados por cada una de las fuerzas		x	x			x	x	x	x	x	x	8
	V4.5.2. Como el trabajo realizado por la fuerza neta				x	x	x			x		x	5
V4.6. Explicitación de los límites de validez de la definición del trabajo neto cuando se considera como el trabajo realizado por la fuerza neta.	V4.6.1. Se explicita		x		x			x	x			x	5
	V4.6.2. No se explicita			x		x	x			x	x		5
V4.7. Presentación de situaciones donde el trabajo no puede ser definido de manera operacional	V4.7.1. Explicitando las dificultades para calcularlo		x				x	x	x				4
	V4.7.2. Sin explicitar las dificultades para calcularlo			x	x	x				x	x	x	6
	V4.7.3. No se presentan												
V4.8. Identificación del agente que hace trabajo	V4.8.1. Se identifica		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	10
	V4.8.2. No se identifica												0
V4.9. Determinación del sistema sobre el que se realiza trabajo	V4.9.1. Se determina		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	10
	V4.9.2. No se determina												0

Tabla V: Síntesis de resultados. Variable V4: Conceptualización del trabajo.

6.2.1. Acerca de la definición de trabajo

En todos los libros revisados, se inicia el desarrollo de los temas del capítulo con una definición operacional de trabajo. En algunos (E, I, J) se considera en primer lugar

el caso de una fuerza constante que actúa sobre un objeto ocasionándole un desplazamiento en la misma dirección de ésta. En estas circunstancias se define el trabajo como el producto de la magnitud de la fuerza F por la magnitud del desplazamiento Δr y después se generaliza para el caso en que la fuerza se aplica con un ángulo arbitrario con respecto al desplazamiento. En otros (B, C, G, H) se presenta directamente esta segunda situación y se define el trabajo como el producto entre el desplazamiento y la componente de la fuerza paralela al desplazamiento. En tres ejemplares (C, E, G) se muestra además, que esto equivale a que el trabajo es igual al producto de la componente del desplazamiento que está en la dirección de la fuerza.

La mayoría (A, B, C, E, F, G, J) presentan la generalización que ofrece el producto escalar de vectores, esto es, $W = \vec{F} \cdot \Delta \vec{r}$. Además, la información que se presenta en forma lingüística en los textos, se completa con diferentes esquemas y ecuaciones que forman parte del sistema simbólico (Alexander y Kullicovich, 1994). Por ejemplo, en la Figura 6 se muestra la definición de trabajo presentada en A, que ilustra cómo se combinan estos aspectos.

8.2 Trabajo

Consideremos una partícula A que se mueve a lo largo de una curva C bajo la acción de una fuerza \mathbf{F} (Fig. 8-1). En un tiempo muy corto dt la partícula se mueve de A a A', siendo el desplazamiento $AA' = d\mathbf{r}$. El trabajo efectuado por la fuerza \mathbf{F} durante tal desplazamiento se define por el producto escalar

$$W = \mathbf{F} \cdot d\mathbf{r} \quad (8.2)$$

Designando la magnitud del desplazamiento $d\mathbf{r}$ (esto es, la distancia recorrida) por ds , podemos también escribir la ec. (8.2) en la forma

$$dW = F ds \cos \theta$$

Donde θ es el ángulo entre la dirección de la fuerza \mathbf{F} y el desplazamiento $d\mathbf{r}$. Pero $F \cos \theta$ es la componente F_T de la fuerza a lo largo de la tangente a la trayectoria, de modo que

$$dW = F_T ds \quad (8.4)$$

Verbalmente podemos expresar este resultado diciendo

El trabajo es igual al producto del desplazamiento por la componente de la fuerza a lo largo del desplazamiento.

Fig. 8-1. El trabajo es igual al desplazamiento multiplicado por el componente de la fuerza a lo largo del desplazamiento.

Figura 6: Definición operacional de trabajo en forma coloquial y en forma simbólica en Alonso y Finn (1976, pp. 203-204).

En todos los ejemplares se utiliza la letra F para denotar la magnitud de la fuerza, sin embargo no hay uniformidad en la simbología que denota la magnitud del desplazamiento. Así, en A se utiliza la notación diferencial ($d\mathbf{r}$), en F y G se lo hace en términos de incrementos (Δr y Δx , respectivamente), y más avanzado el capítulo, en G también se lo escribe considerando la notación diferencial. En los demás se usan diferentes letras para denotar los desplazamientos: en B se utiliza la letra ℓ , en H la letra x ; en C, D e I se utiliza la letra d y en E y J la letra s . Lo cual coincide con resultados de otras investigaciones (Giacosa *et al.*, 2019; Giacosa *et al.*, 2018).

Se estima que la notación en términos de diferenciales ofrece la ventaja de que el trabajo definido en términos de la integral de línea

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

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

El trabajo W invertido sobre un sistema por un agente que ejerce una fuerza constante es el producto de la magnitud F de la fuerza, la magnitud Δr del desplazamiento del punto de aplicación de la fuerza y $\cos\theta$, donde θ es el ángulo entre los vectores fuerza y desplazamiento

$$W = F\Delta r \cos\theta \quad (7.1) \text{ (Serway y Jewett, 2009, p. 165).}$$

Es decir, aquí el trabajo no se realiza sobre una partícula como se los presenta en los demás textos, sino sobre un sistema. En consecuencia, similares expresiones simbólicas tienen descripciones lingüísticas distintas. Esto ya se ha señalado desde la investigación educativa, al respecto Slisko (2005; p. 14) señala: “Es fácil ponerse de acuerdo sobre el manejo matemático de fórmulas pero, en ocasiones, es realmente difícil hacerlo sobre su significado o, en términos generales, sobre su interpretación física”. Y otra cuestión que lo diferencia de los demás es el vocabulario, mientras que en todos los demás ejemplares se presentan afirmaciones como el trabajo realizado o efectuado por una fuerza, en este texto se habla de trabajo invertido o consumido por una fuerza.

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

igual a la fuerza multiplicada por la distancia” (Tipler, 1993, p. 141) pero se deja claro cuáles son las condiciones en que se verifica dicha proposición.

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

Con respecto al trabajo rotacional, en todos los textos inspeccionados se lo define operacionalmente como el producto entre torque y desplazamiento angular. Los autores se ocupan de mostrar las correspondencias que existen entre magnitudes lineales y rotacionales. Se escogió un ejemplo representativo, que se presenta en la Figura 7.

TABLA 9.2 Analogías de los movimientos rotacional y lineal

Movimiento rotacional		Movimiento lineal	
Desplazamiento angular	$\Delta\theta$	Desplazamiento	Δx
Velocidad angular	$\omega = \frac{d\theta}{dt}$	Velocidad	$v = \frac{dx}{dt}$
Aceleración angular	$\alpha = \frac{d\omega}{dt} = \frac{d^2\theta}{dt^2}$	Aceleración	$a = \frac{dv}{dt} = \frac{d^2x}{dt^2}$
Ecuaciones de aceleración angular constante	$\omega = \omega_0 + \alpha t$ $\Delta\theta = \omega_0 \Delta t$ $\omega_m = \frac{1}{2}(\omega_0 + \omega)$ $\theta = \theta_0 + \omega_0 t + \frac{1}{2}\alpha t^2$ $\omega^2 = \omega_0^2 + 2\alpha \Delta\theta$	Ecuaciones de aceleración constante	$v = v_0 + at$ $\Delta x = v_m \Delta t$ $v_m = \frac{1}{2}(v_0 + v)$ $x = x_0 + v_0 t + \frac{1}{2}at^2$ $v^2 = v_0^2 + 2a \Delta x$
Momento de una fuerza	τ	Fuerza	F
Momento de inercia	I	Masa	m
Trabajo	$dW = \tau d\theta$	Trabajo	$dW = F_s ds$
Energía cinética	$E_c = \frac{1}{2} I \omega^2$	Energía cinética	$E_c = \frac{1}{2} m v^2$
Potencia	$P = \tau \omega$	Potencia	$P = Fv$
Momento angular [†]	$L = I\omega$	Momento lineal	$p = mv$
Segunda ley de Newton	$\tau_{\text{neto}} = I\alpha = \frac{dL}{dt}$	Segunda ley de Newton	$F_{\text{neto}} = ma = \frac{dp}{dt}$

[†] El momento angular se introduce en el capítulo 10.

Figura 7: En la tabla, extraída de Tipler (1993, p. 266), se muestra una comparación entre las magnitudes involucradas en el movimiento de rotación con las correspondientes del movimiento de traslación, desarrolladas en capítulos anteriores de la obra.

Además de las definiciones operacionales, en cinco ejemplares (D, E, F, G, I) se explicita que el trabajo es una transferencia de energía. Por ejemplo, en D se señala: “El trabajo no es una forma de energía, sino una forma de transferir energía de un lugar a otro, o de una forma a otra” (Hewitt, 2004, p. 110) y en F se afirma:

Una consideración importante para un enfoque de sistema a los problemas es que el trabajo es una transferencia de energía [...] Por lo tanto, si un sistema interactúa con su entorno, esta interacción se describe como una transferencia de energía a través de las fronteras del sistema (Serway y Jewett, 2009, p. 166).

En I se identifica el trabajo con una transferencia de energía cinética solamente, no hacen extensiva esta definición a la energía en general. En él puede leerse:

Lo que nos dice el teorema trabajo-energía es que, cuando se efectúa trabajo, hay un cambio o una transferencia de energía. En general, entonces, decimos que *el trabajo es una medida de la transferencia de energía cinética* (Wilson *et al.*, 2007, p. 149).

La siguiente cita se extrajo de E, de la sección destinada a la discusión del teorema de trabajo-energía cinética. Implícitamente se da a entender que hay sólo dos mecanismos de transferencia de energía: trabajo y calor. Algo similar se observó en G. Estos planteos, si bien no son erróneos, son incompletos porque no contemplan otras transferencias de energía, como por ejemplo la que se produce con la propagación de una onda (Jewett, 2008c).

La energía puede transferirse de un cuerpo a otro o convertirse de una forma en otra. Una forma en que se realiza esto, consiste en realizar trabajo [...] Así pues tenemos otra definición de trabajo:

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

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

En tanto que en G, en la introducción del capítulo de conservación de la energía, si bien el autor no dice explícitamente que el trabajo es transferencia de energía, afirma:

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

Más adelante, en este mismo capítulo, se presenta una descripción de situaciones que involucran trabajo que no puede calcularse con la definición operacional.

6.2.2. Acerca de las diferentes connotaciones del término y de las eventuales concepciones alternativas del lector

En la mayoría de los ejemplares analizados (B, C, D, E, F, G, H, J) se diferencian los significados del término trabajo en el contexto científico y el cotidiano, existiendo una minoría que no realiza la mencionada distinción (A, H). Esta diferenciación se realiza a través de enunciados como los que se transcriben a continuación.

Con el tiempo se siente cansancio en los brazos de la persona en la silla de ruedas o en las piernas del que anda en bicicleta, de modo que no pueden mantener la rapidez original cuesta arriba. Quizá se fatiguen tanto, que se detengan por completo, podemos analizar las fuerzas aplicadas en este problema, basándonos en las leyes de Newton, pero no nos permiten explicar por qué se consume la

capacidad de las personas de ejercer una fuerza para avanzar. En otras palabras, *no podemos* pensar que su cuerpo “contenga” una cantidad de fuerza que se agota con el esfuerzo.

En este análisis, es preciso introducir dos conceptos nuevos: *trabajo y energía*. Como tantas otras palabras con que describimos los conceptos de la física, no hay que confundir su significado ordinario con las definiciones rigurosa que tienen como magnitudes físicas. El concepto físico de trabajo incluye una fuerza ejercida conforme el punto de aplicación va recorriendo alguna distancia; una forma de definir la energía de un sistema, consiste en medir su capacidad de realizar trabajo (Resnick *et al.*, 2011, pp. 229-230).

Seguramente usted estará de acuerdo en que cuesta trabajo mover un sofá pesado, levantar una pila de libros del piso hasta colocarla en un estante alto, o empujar un automóvil averiado para retirarlo de la carretera. Todos estos ejemplos concuerdan con el significado cotidiano de *trabajo*: cualquier actividad que requiere esfuerzo muscular o mental.

En física el trabajo tiene una definición mucho más precisa [...] es importante entender que el trabajo también puede ser negativo o cero. Ésta es la diferencia esencial entre la definición de trabajo en física y la definición “cotidiana” del mismo (Young y Freedman, 2009, pp. 182-183).

Este capítulo se enfoca en dos conceptos que son muy importantes tanto en la ciencia como en la vida cotidiana: trabajo y energía. Comúnmente pensamos en el trabajo como algo relacionado con hacer o lograr algo. Puesto que el trabajo nos cansa físicamente (y a veces mentalmente), hemos inventado máquinas y dispositivos para reducir el esfuerzo que realizamos personalmente (Wilson *et al.*, 2007, p. 140).

Por otra parte, se consideran las eventuales concepciones alternativas del lector proponiendo ejemplos en los que se requiera la realización de un esfuerzo por parte del

agente que ejerce la fuerza y sin embargo no se efectúa trabajo, porque no hay desplazamiento o porque el desplazamiento es perpendicular a la fuerza. Pueden leerse afirmaciones, como las que se citan a continuación, que ilustran estos aspectos:

...suponga que se empuja con fuerza contra una pared, pero ésta no se mueve, en este caso, de acuerdo con la definición el trabajo realizado sobre la pared es cero, a pesar de que sienta cansancio después de haber empujado contra este objeto inmóvil (Gettys *et al.*, 2005, p. 164).

¿Qué ocurre si una persona sostiene un peso en una posición fija? Consume energía, pero, ¿realiza trabajo? De acuerdo con la definición de trabajo, la persona no realiza trabajo *sobre* el peso, porque este no se mueve (figura 6.5). Sin embargo, sus músculos se contraen y se relajan continuamente mientras se sostiene el peso. En este proceso la energía química interna del cuerpo de la persona se convierte en energía térmica (figura 6.6) (Tipler, 1993, p. 146).

En otras ocasiones, las imágenes proporcionan la misma información, o adicional, a la desarrollada lingüísticamente en el texto con objeto de exponer eventuales concepciones alternativas. Por ejemplo, las que se muestran en la Figura 8 (a), (b) y (c).

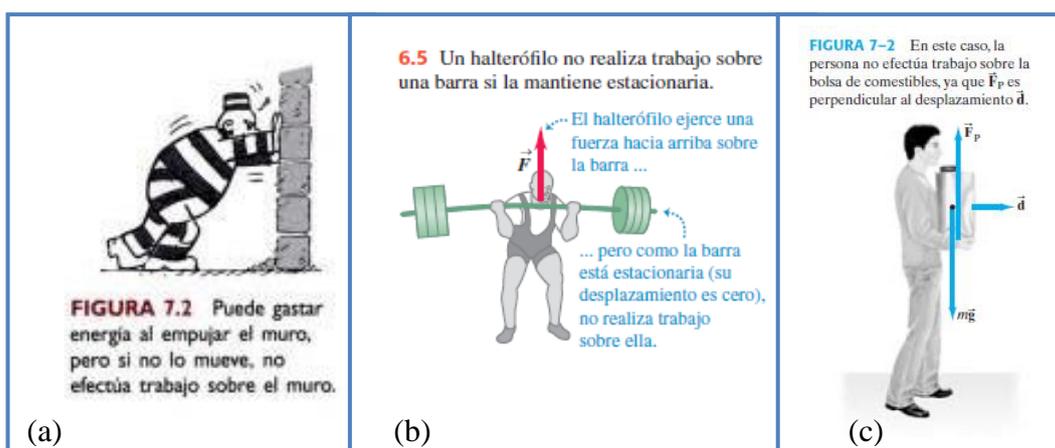


Figura 8: (a) Imagen extraída de Hewitt (2004, p. 105) y (b) Imagen extraída de Young y Freedman (2009, p. 184). (c) Imagen tomada de Giancoli (2009, p. 164) para mostrar que el trabajo es cero porque la fuerza es perpendicular al desplazamiento. Las situaciones esquematizadas se utilizan en los libros para distinguir trabajo de esfuerzo.

Con la finalidad de diferenciar el trabajo del esfuerzo, en B se afirma:

Aunque el trabajo realizado por la fuerza que se aplica a un objeto sea cero o negativo, la fatiga muscular que experimenta es igual que si el trabajo realizado sobre el objeto fuera positivo. Por tanto, la fatiga muscular no es un buen indicador del signo o de la cantidad de trabajo que se realiza sobre un objeto (Gettys *et al.*, 2005, p.165).

En E, explícitamente se diferencia el trabajo de otros conceptos:

Nótese que, a diferencia de propiedades como masa, volumen o temperatura, el trabajo no es una propiedad intrínseca de los cuerpos. Por ejemplo, no podemos decir que el cuerpo gane, pierda o contenga cierta cantidad de trabajo cuando recorre una distancia mientras una fuerza opera sobre él. El trabajo se asocia a la fuerza que actúa sobre el cuerpo o al agente que lo aplica (Resnick *et al.*, 2011, p. 233).

Desde la investigación educativa se señaló que es conveniente hacer notar a los estudiantes que calor y trabajo son dos mecanismos de transferencia de energía a través de la frontera de un sistema, por lo que un sistema no puede poseer calor ni trabajo (Jewett 2008 b).

6.2.3. Acerca de la interpretación del desplazamiento que interviene en la definición operacional de trabajo

Como se expuso en una sección anterior, se utilizan expresiones que estructuralmente son similares para definir operacionalmente el trabajo. Sin embargo, éstas no están libres de ambigüedades y contradicciones en algunos casos.

Las ambigüedades surgen porque no siempre se explicita cuál es el desplazamiento involucrado en la misma. En la mayoría (A, B, C, D, I, J), a través del sistema lingüístico, se indica que se trata del desplazamiento del objeto. Un ejemplo representativo se muestra en la Figura 9 (a). En algunos (E, F, G), se señala que se trata

del desplazamiento del punto de aplicación de la fuerza, un ejemplo se presenta en la Figura 9 (b).

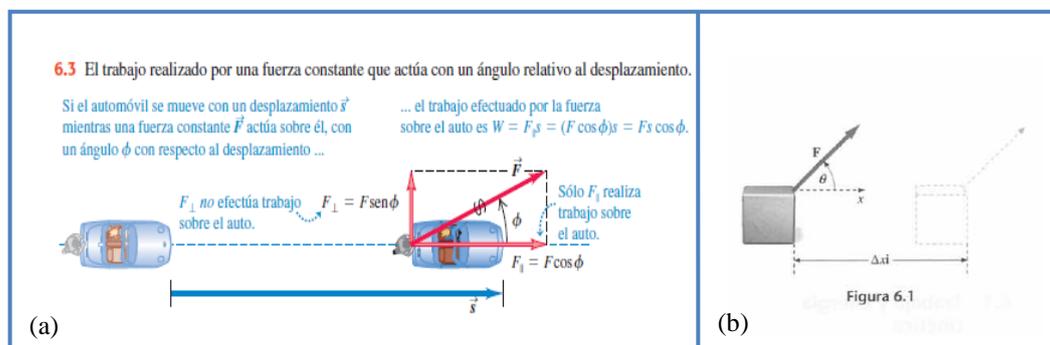


Figura 9: El desplazamiento en la definición del trabajo es: (a) el del objeto, imagen tomada de Young y Freedman (2009, p. 183). (b) el del punto de aplicación de la fuerza, imagen tomada de Tipler (1993, p. 142).

En H no se especifica qué es lo que se desplaza. Sin embargo, a través de un esquema que brinda información adicional y que no se desarrolla en el texto, se infiere que se trata del desplazamiento del punto de aplicación de la fuerza (Figura 10).

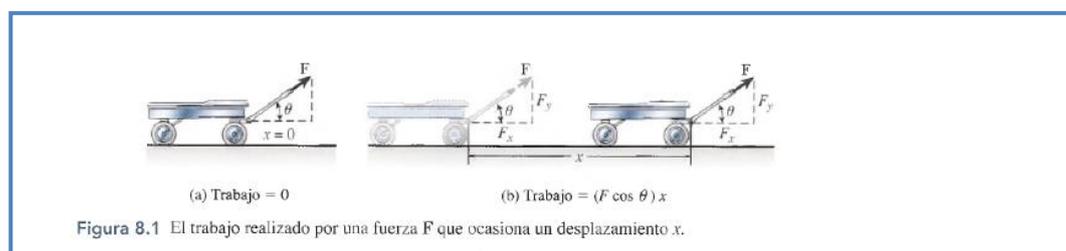


Figura 10: Imagen extraída de Tippens (2007, p. 158), que completa la descripción verbal que no especifica qué es lo que se desplaza. De ella puede inferirse que el desplazamiento es el del punto de aplicación de la fuerza.

Esta vaguedad conduce a dificultades cuando los estudiantes se encuentran con fuerzas de fricción o aplicadas a objetos deformables o giratorios (Jewett, 2008a).

Las contradicciones se originan porque no logran integrarse adecuadamente los sistemas lingüístico y simbólico. En algunos textos se presentan enunciados en los que se declara que el desplazamiento que interviene es el del objeto, en tanto que algunas de las imágenes utilizadas para representar esquemáticamente diversas situaciones,

insinúan que se trata del desplazamiento del punto de aplicación de la fuerza (Figura 11 (a)). En la Figura 11 (b), se observa que los autores identifican el desplazamiento que interviene en la definición operacional de trabajo con el del objeto. Sin embargo, unas páginas antes habían señalado que este correspondía al desplazamiento del punto de aplicación de la fuerza.

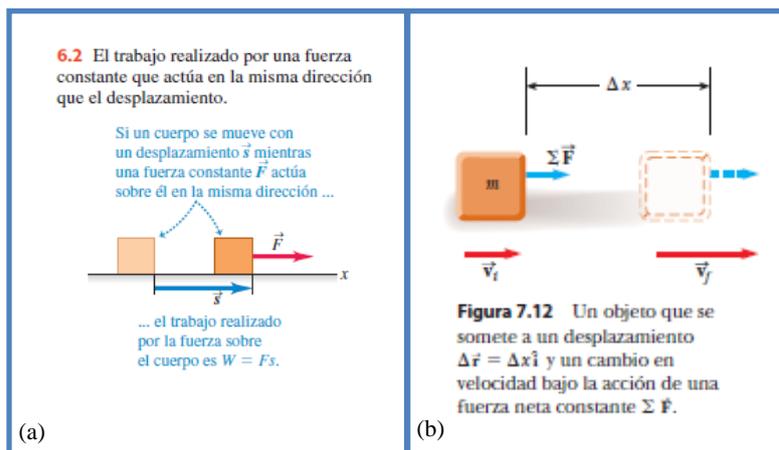


Figura 11: (a) Imagen que sugiere que el desplazamiento es el del punto de aplicación de la fuerza, tomada de Young y Freedman (2009, p. 182). (b) Imagen que sugiere que el desplazamiento es el del objeto, tomada de Serway y Jewett (2007, p. 174).

Se evidencia que los autores, en su afán por presentar un cúmulo importante de información en una cantidad manejable de páginas, recurren a recortes y simplificaciones que no siempre se traducen en descripciones adecuadas de los fenómenos. Al respecto, la comunidad de investigadores en Enseñanza de la Física reportó controversias con las simplificaciones utilizadas para el desarrollo de otros conceptos físicos (Forjan y Slisko, 2014; Giorgi *et al.*, 2014; Marino *et al.*, 2016; Giorgi *et al.*, 2017).

En tres ejemplares (B, C y F), en algunos de los esquemas que acompañan la descripción verbal, se representa el desplazamiento como un vector cuyo origen se encuentra en la posición que ocupa originalmente el centro de masa (esquema ilustra un objeto extenso) y cuyo extremo corresponde a la nueva posición del centro de masa del

objeto que se mueve. En B y en F, además se señala que la fuerza se aplica en el centro de masa del objeto. Estas situaciones se muestran en la Figura 12 (a), (b) y (c).

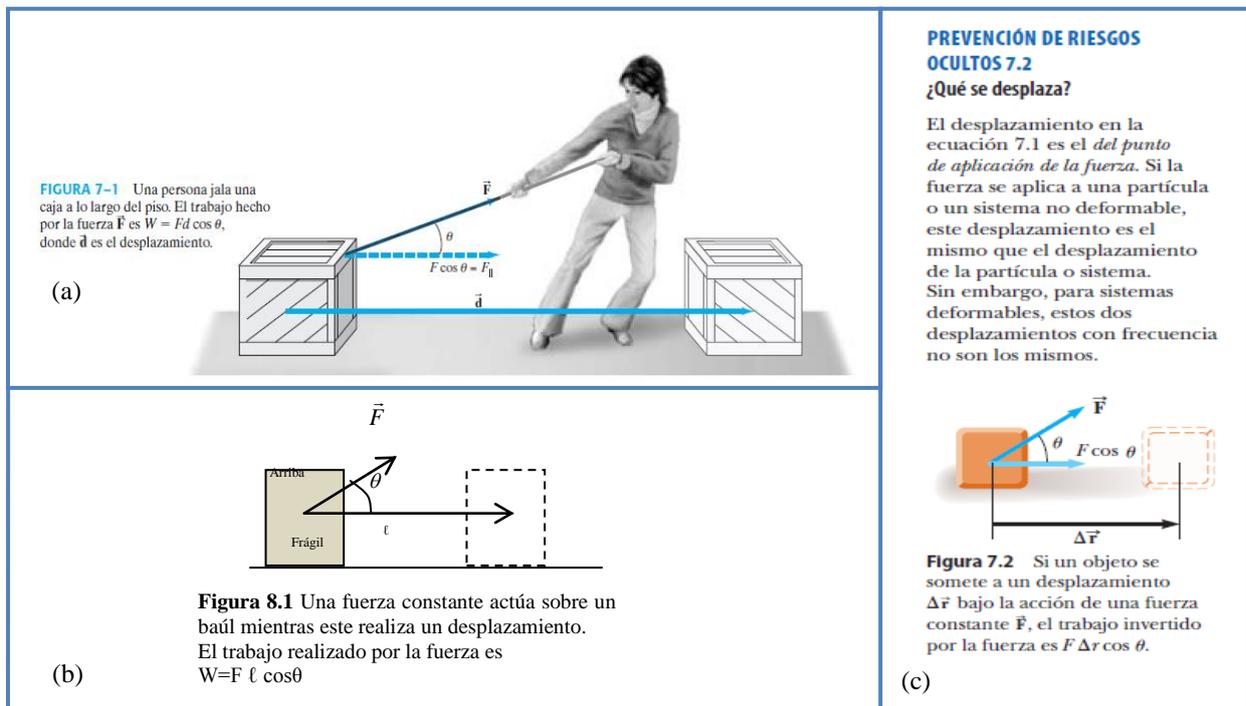


Figura 12: (a) Imagen en la que el desplazamiento que interviene puede ser interpretado como el del centro de masa del objeto, tomada de Giancoli (2009, p. 164). (b) Existe ambigüedad en la imagen dado que admite dos interpretaciones para el desplazamiento: como el del centro de masa del objeto o como el del punto de aplicación de la fuerza aplicada en el centro de masa, tomada de Gettys *et al.* (2005, p. 164). (c) Pese a la similitud visual con (b), la ambigüedad de la imagen desaparece porque se incluye un epígrafe con una explicación que guía su interpretación, tomada de Serway y Jewett (2009, p. 165).

Es de hacer notar que las imágenes de las Figuras 12 (a) y (b) están acompañadas de epígrafes que no ofrecen información adicional sobre cómo interpretar las expresiones simbólicas que se exponen. En tanto que en (c), aun cuando sea visualmente equivalente a (b), la ambigüedad desaparece porque los autores incluyen un epígrafe que orienta en la interpretación de la imagen.

Desde la investigación educativa se ha documentado que la no identificación precisa del desplazamiento podría ser fuente de complicaciones (Jewett, 2008a). Para un sistema que consta de una sola partícula u objeto no deformable y no giratorio, el desplazamiento del punto de aplicación de la fuerza es el mismo que el desplazamiento

del centro de masa del objeto o sistema e igual al desplazamiento del objeto. En consecuencia, la interpretación que se asigne al desplazamiento no es relevante. Sin embargo, para un sistema deformable o rotante, el desplazamiento del centro de masa del sistema puede ser diferente del desplazamiento del punto de aplicación de la fuerza y para estos casos algunos sugieren introducir las nociones de pseudo-trabajo o trabajo del centro de masa (Penchina, 1978; Sherwood, 1993) o entender siempre el desplazamiento involucrado como el del punto de aplicación de la fuerza (Jewett, 2008a). El concepto de pseudo-trabajo se trata en E, pero sin referirse a él en estos términos: los autores lo abordan en una sección titulada “Energía del centro de masa”.

6.2.4 Acerca de la explicitación de los límites de validez de la definición operacional de trabajo

Los límites de validez de la definición operacional de trabajo no se aborda en la mayoría de los libros analizados (B, D, E, G, H, I). En dos (A, F) tuvo que inferirse a partir de ciertas frases en que estos aspectos son “insinuados” y, en otros (C, J) se los enuncia explícitamente.

Así por ejemplo, en A, si bien no se dice manifiestamente que la definición de trabajo presentada es sólo válida para objetos puntuales, los autores siempre se refieren al sistema sobre el que se realiza el trabajo como una partícula. Dado que en el capítulo en que se introducen las nociones de trabajo y energía no pudo encontrarse qué entienden los autores por partícula, se amplió la búsqueda a capítulos anteriores. En la introducción del capítulo 4, cuyo objeto de estudio son las fuerzas, puede leerse: “En este capítulo consideraremos fuerzas aplicadas solamente a masas puntuales o partículas y cuerpos rígidos” (Alonso y Finn, 1976, p. 59). Vale aclarar que los autores consideran

partícula como sinónimo de masa puntual dado que la disyunción utilizada en la frase transcripta no es una disyunción excluyente.

La consideración de los límites de validez de la definición operacional de trabajo subyace, de manera similar, en la presentación que se realiza sobre las situaciones con fricción cinética en F. Se indica que el desplazamiento de la fuerza de fricción no es calculable y tampoco lo es el trabajo realizado por dicha fuerza. De lo expuesto, se puede inferir que los autores admiten tácitamente que la definición operacional de trabajo es válida para aquellas fuerzas cuyos puntos de aplicación sufren desplazamientos calculables. Este planteamiento es algo diferente del que pudo encontrarse en otros textos. En el libro F no se afirma que la definición de trabajo presentada sólo es válida para partículas como se dice o se insinúa en algunos de los demás libros analizados. Cabe aclarar que desde el inicio, los autores adoptan el modelo de sistema para la presentación de los tópicos vinculados a la energía. Este enfoque es más general dado que contempla el trabajo de o sobre una partícula como un caso particular del trabajo de o sobre un sistema. Los autores ilustran su postura exponiendo diferentes ejemplos de sistemas: uno de los ejemplos considerados es el de un sistema constituido por un objeto simple o partícula. Para aclarar la cuestión, se rastreó en capítulos previos cuál es la noción de partícula a la que adhieren los autores. Al respecto, se encontró que: “Una partícula es un objeto parecido a un punto, es decir un objeto que tiene masa pero es de tamaño infinitesimal” (Serway y Jewett, 2009, p.19).

Por otro lado, en dos textos se dice explícitamente cuál es el alcance de las definiciones que se proponen. Así por ejemplo, en C puede leerse:

Por ahora consideraremos sólo el movimiento traslacional y, a menos que se indique otra cuestión, los objetos se supondrán *rígidos*, sin ningún movimiento interno y pueden tratarse como partículas. Entonces, el **trabajo** realizado sobre un objeto por una fuerza constante (en magnitud y dirección) se define como *el producto de la*

magnitud del desplazamiento del objeto multiplicado por la componente de la fuerza paralela al desplazamiento (Giancoli, 2009, p. 164).

Además, se encontró que dicho autor, en el capítulo 2, adhiere a la siguiente idea: “A menudo usaremos el concepto, o modelo, de partícula idealizada, que se considera como un punto matemático sin extensión espacial (sin tamaño). Una partícula puede tener sólo movimiento traslacional” (Giancoli, 2009, p.19).

Finalmente, el otro ejemplar en que se considera explícitamente la cuestión es J. En el capítulo 1, cuando se trata modelos idealizados, se afirma que una partícula es cualquier objeto que puede ser representado como un punto dado que se puede omitir su tamaño y forma. Luego, en el capítulo 6, se advierte al lector que definir el trabajo en términos del desplazamiento del objeto es válido sólo para partículas o para cuerpos rígidos en movimiento de traslación, tal como se puede leer en el siguiente fragmento:

Considere un cuerpo que sufre un desplazamiento de magnitud s en línea recta. (Por ahora, supondremos que todo cuerpo puede tratarse como partícula y despreciaremos cualquier rotación o cambio en la forma del cuerpo). Mientras el cuerpo se mueve, una fuerza constante actúa sobre él en la dirección del desplazamiento (figura 6.2). Definimos el trabajo W realizado por esta fuerza constante en dichas condiciones como el producto de la magnitud F de la fuerza y la magnitud s del desplazamiento:

$$W=Fs \text{ (fuerza constante en dirección del desplazamiento rectilíneo) (6.1)}$$

El trabajo efectuado sobre el cuerpo es mayor si la fuerza F o el desplazamiento s son mayores, lo que coincide con nuestras observaciones anteriores (Young y Freedman, 2009, p. 182).

6.2.5. Acerca de la forma de obtener el trabajo neto

El trabajo neto puede obtenerse como la suma de todos los trabajos que producen cada una de las fuerzas involucradas o bien como el trabajo que realiza la fuerza neta (aunque esta segunda opción no es de validez general). En la mitad de los ejemplares (A, B, F, G, I) se lo define según la primera vía. En dos (C, D) únicamente según la segunda y en tres ejemplares (E, H, J) se exponen ambas definiciones. Vale aclarar que en D no se define el trabajo neto, pero cuando se aborda el teorema de trabajo-energía puede leerse: “fuerza total \times distancia = energía cinética” (Hewitt, 2004, p.105) con lo cual estaría en la línea de la segunda de las acepciones. Es usual que aquellos que se inclinan por una forma de definir el trabajo neto, ya sea a través de deducciones formales o en la resolución de ejemplos, muestran que siguiendo ambas se obtienen resultados iguales. Pero, no en todos se indica cuáles son las circunstancias en que esto ocurre. La descripción sobre la consideración o no de las condiciones para la equivalencia de ambos procedimientos, se presenta en la sección siguiente.

En tres ejemplares (E, H, J), se consideran simultáneamente ambas vías de definición:

El primer objetivo es determinar el trabajo neto proveniente de todas las fuerzas que operan sobre el cuerpo. Esto podemos hacerlo en dos formas: 1) Calcular la fuerza neta $\vec{F}_{neta} = \sum \vec{F}$, y luego calcular el trabajo $W_{neta} = \vec{F}_{neta} \cdot \vec{s}$, hecho por ella en el cuerpo a medida que éste recorre un desplazamiento \vec{s} , o 2) Calcular el que realizan las fuerzas individuales ($W_1 = \vec{F}_1 \cdot \vec{s}$, $W_2 = \vec{F}_2 \cdot \vec{s}$, etc.), sumando después para encontrar el trabajo neto: $W_{neta} = W_1 + W_2 + \dots$. Los dos métodos producen resultado idéntico, y la elección entre ellos se basa principalmente en la facilidad con que se aplican (Resnick *et al.*, 2011, p. 239).

Puesto que el trabajo es una cantidad escalar, el trabajo total W_{tot} realizado por todas las fuerzas sobre el cuerpo es la suma algebraica de los trabajos realizados por las fuerzas individuales. Otra forma de calcular W_{tot} es calcular la suma vectorial de las fuerzas (es decir, la fuerza neta) y usarla en vez de en la ecuación (6.2) o en la (6.3) (Young y Freedman, 2009, p. 185).

Si varias fuerzas actúan sobre un cuerpo en movimiento, el trabajo resultante (trabajo total) es la suma algebraica de los trabajos de las fuerzas individuales. Esto también será igual al trabajo de la fuerza resultante. La realización de un trabajo neto requiere la existencia de una fuerza resultante (Tippens, 2007, p. 159).

Para ilustrar cuál es la definición de trabajo neto a la que adhieren los autores en B, se transcribe el siguiente fragmento: “Si hay más de una fuerza presente, es posible calcular el trabajo realizado por cada una de las fuerzas por separado durante el desplazamiento del objeto” (Gettys *et al.*, 2005, p. 165).

En G, se plantea que: “Cuando hay varias fuerzas que realizan trabajo, el trabajo total se calcula sumando el trabajo realizado por cada una de las fuerzas: $W_{\text{total}} = F_{1,x}\Delta x_1 + F_{2,x}\Delta x_2 + F_{3,x}\Delta x_3 + \dots$ ” (Tipler, 1993, p. 142) y luego se demuestra que si el objeto es una partícula esto equivale al trabajo que realiza la fuerza neta.

En I, puede leerse “El *trabajo total o neto* es el trabajo efectuado por todas las fuerzas que actúan sobre el objeto; es la suma escalar de esas cantidades de trabajo” (Wilson *et al.*, 2007, p. 144) y mediante un ejemplo se muestra que se obtiene el mismo resultado que al considerar el trabajo de la fuerza neta. En cambio, en C se sigue el orden inverso. Es decir, en la parte principal del texto se define el trabajo neto como el que realiza la fuerza neta y mediante ejemplos se demuestra que esto equivale a sumar escalarmente los trabajos efectuados por cada una de las fuerzas involucradas. Se presenta la siguiente definición:

Cuando tratamos con trabajo, así como con una fuerza, es necesario especificar si hablamos del trabajo efectuado *por* un objeto específico o *sobre* un objeto específico. También es importante puntualizar si el trabajo realizado se debe a una fuerza particular (y a cuál), o al trabajo total (neto) efectuado por la fuerza *neta* sobre el objeto (Giancoli, 2009, p. 165).

6.2.6. Acerca de la explicitación de los límites de validez de la definición del trabajo neto cuando se lo considera como el trabajo realizado por la fuerza neta

En la sección anterior se presentaron diferentes posturas asumidas por los autores de libros de texto a la hora de evaluar el trabajo neto. La mitad de los libros de texto (B, D, E, H, I, J) no explicita en qué condiciones el trabajo neto puede ser considerado como el trabajo realizado por la fuerza neta. El fragmento extraído de Resnick *et al.* (2011), que fue citado en el apartado anterior, permite mostrar que los autores aseguran que ambas formas de obtener el trabajo neto producen resultado idéntico. Sin embargo, esto no es un resultado generalizable, sólo será cierto si todos los desplazamientos son iguales, lo cual se verifica para objetos puntuales o para cuerpos rígidos y no rotantes (Jewett, 2008a). En A se procede de manera similar, pero la diferencia en el planteo reside en el hecho de que se explicita que el desplazamiento es el mismo para todas las fuerzas por actuar sobre la misma partícula, deduciéndose que el trabajo neto es igual al trabajo realizado por la fuerza neta. En H, aun cuando se siga un planteo análogo al mencionado en A, se expone este resultado como algo de validez general pues no se indica que se verifica sólo para partículas puntuales. Esto queda evidenciado en el siguiente fragmento: “El *trabajo resultante* es simplemente el trabajo hecho por una fuerza resultante. Si ésta es cero, entonces el trabajo resultante también es cero, aun cuando diversas fuerzas individuales puedan estar realizando un trabajo positivo o negativo” (Tippens, 2007, p. 161).

Similares características tiene el desarrollo efectuado en B, tal como puede leerse en el siguiente fragmento:

“La parte izquierda del teorema de la energía cinética es el trabajo realizado por la fuerza resultante aplicada o trabajo total. Se puede calcular este trabajo al sumar vectorialmente todas las fuerzas que actúan sobre el objeto para obtener su resultante, y determinar así el trabajo realizado por esta fuerza. Asimismo, es posible determinar el trabajo realizado por cada una de las fuerzas por separado, y sumar todas estas contribuciones individuales para obtener el trabajo total” (Gettys *et al.*, 2005, p. 173).

En C, cuando se aborda el trabajo como aquel que realiza la fuerza neta, no se hacen suposiciones sobre las condiciones en que esto es válido. Sin embargo, al inicio del capítulo puede rastrearse una aseveración del autor (y que fuera citada en la sección 6.2.4.) en la que informa al lector que en todo el desarrollo, a menos que se indique lo contrario, los objetos serán considerados rígidos y sin movimientos internos, consecuentemente reducibles a partículas. Por lo que la cuestión del alcance de la definición propuesta está implícita en el tratamiento propuesto. Si bien el tratamiento dispensado en J tiene rasgos similares, puesto que los autores plantean la definición de trabajo en términos del desplazamiento asumiendo que la misma es válida para objetos reducibles a partículas, no realizaron advertencia alguna al lector de que los demás conceptos del capítulo pueden ser concebidos bajo las mismas restricciones. En virtud de lo expuesto, se consideró que en J no se especifica en qué condiciones es verdadero que el trabajo neto sea el que realiza la fuerza neta.

En I, en la presentación que se hace en el texto no se sugiere que el trabajo neto es el que realiza la fuerza neta. No obstante, en la resolución de diversos problemas que se proponen a modo de ejemplo, se muestra que el trabajo neto es el mismo que el de la fuerza neta; esto se realiza sin hacer suposiciones sobre la naturaleza de los objetos

involucrados. Consecuentemente, se puede afirmar que los autores no hacen explícitas las condiciones en las que esta proposición resulta verdadera.

En cambio, los desarrollos que se presentan en F y G, exponen abiertamente en qué condiciones ambos modos de obtener el trabajo neto son equivalentes, tal como puede leerse en las siguientes transcripciones:

Si más de una fuerza actúa sobre un sistema y el sistema se puede modelar como una partícula, el trabajo total consumido en el sistema es justo el trabajo invertido por la fuerza neta [...]

Si no es posible modelar el sistema como una partícula (por ejemplo, si el sistema consiste de múltiples partículas que se mueven unas respecto de otras), no se puede usar la ecuación 7.8, porque fuerzas diferentes sobre el sistema pueden moverse a través de diferentes desplazamientos. En este caso, se debe evaluar el trabajo invertido por cada fuerza por separado y después sumar algebraicamente los trabajos para encontrar el trabajo neto invertido en el sistema (Serway y Jewett, 2009, p.170).

Cuando varias fuerzas realizan trabajo sobre una partícula, los desplazamientos de los puntos de aplicación de cada una de estas fuerzas son iguales. Sea Δx el desplazamiento de una de las fuerzas:

$$W_{total} = F_{1x}\Delta x + F_{2x}\Delta x + F_{3x}\Delta x + \dots = (F_{1x} + F_{2x} + F_{3x} + \dots)\Delta x = F_{neta\ x} \Delta x \quad (6.4)$$

(Tipler, 1993, p. 142).

Y en las líneas que preceden a esta deducción, el autor establece que se entenderá por partícula a:

cualquier objeto que se mueve de tal forma que todas sus partes experimentan los mismos desplazamientos durante cualquier instante de tiempo. Es decir, un objeto puede asimilarse a una partícula en tanto todo él permanezca completamente rígido y se mueva sin girar (Tipler, 1993, p. 142).

6.2.7. Acerca de la consideración de trabajos que no pueden calcularse a través de la definición operacional

Desde la investigación educativa se han reportado los inconvenientes que supone calcular operacionalmente el trabajo de la fuerza de rozamiento. En este sentido Sherwood y Bernard (1984) han demostrado que la idea importante es que el punto de aplicación de la fuerza de fricción se mueve, pero se mueve de manera impredecible. Además indican que en los libros elementales se suele calcular de manera incorrecta el trabajo de la fuerza de rozamiento porque implícitamente se considera que el punto de aplicación de dicha fuerza sufre un desplazamiento igual al del objeto. Bauman (1992a), en concordancia con Jewett (2008a), advierte que el trabajo de la fuerza de fricción no está definido operacionalmente. Pese a las advertencias encontradas en la revisión de la literatura, en la mayoría de los libros persisten muchos de los planteos que categóricamente los investigadores han señalado como inadecuados. Así en seis de los ejemplares (B, C, D, H, I, J), se encontraron problemas en los que los autores asumen que los desplazamientos del objeto y del punto de aplicación de la fuerza de rozamiento son idénticos. Sin embargo, en C, el autor hace un comentario para indicar que el trabajo de fricción es complicado, pero luego no lo toma en cuenta. En cuatro libros (A, E, F, G), se establece que este trabajo es igual a una transferencia de energía y no es asimilable al producto de la fuerza por el desplazamiento. Tres de dichos textos (E, F, G), remiten al lector al trabajo de Sherwood y Bernard (1984) para ampliar la información al respecto.

Así, se encontraron ejemplos en B. Seguidamente, se presentan dos enunciados en cuya resolución (que no se transcribe) o en el enunciado en sí mismo, los autores asumen implícitamente que el desplazamiento del punto de aplicación de la fuerza es igual al del objeto:

Un objeto de 0.4 kg se mueve en una trayectoria circular de 0.50m de radio sobre un tablero horizontal, como se muestra en la figura 8.11. El coeficiente de fricción es $\mu_k=0.24$. Determine el trabajo realizado por la fuerza de fricción sobre el objeto cuando se mueve un cuarto de vuelta (Gettys *et al.*, 2005, p. 172).

Un automovilista que conduce un vehículo de 1200 kg a 18 m/s en una avenida, frena de repente. Las ruedas se bloquean y el automóvil patina, deteniéndose después de deslizar 25 m. a) ¿Cuál es el trabajo realizado por la fuerza de fricción ejercida por la superficie de la calle? b) Determinése el valor de la fuerza de fricción, suponiendo que fuese constante (Gettys *et al.*, 2005, p. 176).

En C, aparece un problema en que se solicita calcular la velocidad que tendrá un bloque adherido a un resorte comprimido, cuando se desprende de dicho resorte en la posición $x=0$, si se consideran los efectos de una fuerza de arrastre constante o fricción para desacelerarlo. Si bien la resolución del problema es similar a la mostrada en B, el autor hace una advertencia superficial (dado que no ofrece argumentos del porqué esto es así) sobre lo complicado que puede resultar evaluar el trabajo de la fricción:

[...] (c) Hay dos fuerzas sobre el bloque: la ejercida por el resorte y la ejercida por la fuerza de arrastre, \mathbf{F}_D . El trabajo efectuado por una fuerza como la fricción es complicado. Para empezar, se produce calor (o mejor dicho, “energía térmica”): intente frotar sus manos fuertemente entre sí. No obstante, el producto $\mathbf{F}_D \cdot d$ para la fuerza de arrastre, aun cuando implique fricción, puede utilizarse en el principio del trabajo y la energía para obtener el resultado correcto considerando al objeto como una partícula. (Giancoli, 2009, p.175).

Sin embargo, en el capítulo de conservación de la energía, el autor vuelve sobre el trabajo de fricción y pasa por alto la consideración hecha antes sobre lo complicado de las situaciones con fricción. Por esta razón se optó por incluir a este texto entre los que presentan situaciones que involucran trabajos que no pueden ser calculados vía la

definición operacional pero que no realizan esta advertencia al lector. No obstante, el autor se pone a resguardo de la contradicción que supondría al afirmar que el carro es considerado como partícula. Así, puede leerse:

Por ejemplo, suponga que el carro de la montaña rusa que rueda sobre las colinas de la figura 8-8 está sometido a fuerzas de fricción. Al pasar de un punto 1 a un segundo punto 2, la energía disipada por la fuerza de fricción que actúa sobre el

carro (considerado como partícula) es $\int_1^2 \vec{F}_{fr} \cdot d\vec{l}$. Si \vec{F}_{fr} es constante en magnitud,

la energía disipada es simplemente $\vec{F}_{fr} \cdot l$, donde l es la distancia real a lo largo de la trayectoria recorrida por el objeto del punto 1 al punto 2 [...] (Giancoli, 2009, p. 197).

En H, se encontró una situación similar a las descritas precedentemente. En el problema propuesto que se transcribe a continuación, el autor considera iguales los desplazamientos involucrados y calcula el trabajo de la fuerza de rozamiento vía la definición operacional. Así puede leerse: “Un trineo de 20 kg descansa en la cima de una pendiente de 80 m de longitud y 30° de inclinación, como se observa en la figura 8.9. Si $\mu_K = 0.2$, ¿Cuál es la velocidad al pie del plano inclinado?” (Tippens, 2009, p.169). Una situación análoga se detectó en I:

“Un bloque de 0.75 kg se desliza por una superficie sin fricción con una rapidez de 2.0 m/s. Luego se desliza sobre una área áspera de 1.0 m de longitud y continua por otra superficie sin fricción. El coeficiente de fricción cinética entre el bloque y la superficie áspera es de 0.17. ¿Qué rapidez tiene el bloque después de pasar por la superficie áspera? (Wilson *et al.*, 2007, p. 163).

Por ejemplo en los problemas resueltos en J, se encontraron situaciones en las que el trabajo de rozamiento fue correctamente estimado como una transferencia de energía y en otras se lo calculó apelando a la definición operacional, aun cuando esto no sea

estrictamente correcto. En la Figura 13, se exhibe un ejemplo en el que se calcula el trabajo de fricción como la fuerza multiplicada por el desplazamiento del objeto.

Ejemplo 7.6 Plano inclinado con fricción

Queremos subir una caja de 12 kg a un camión deslizando por una rampa de 2.5 m inclinada 30°. Un obrero, sin considerar la fricción, calcula que puede subir la caja por la rampa dándole una rapidez inicial de 5.0 m/s con un empujón en la base. Sin embargo, la fricción *no* es despreciable; la caja sube 1.6 m por la rampa, se para y se desliza de regreso (figura 7.11). *a*) Suponiendo que la fuerza de fricción que actúa sobre la caja es constante, calcule su magnitud. *b*) Qué rapidez tiene la caja al volver a la base de la rampa?

SOLUCIÓN

IDENTIFICAR: La fuerza de fricción efectúa trabajo sobre la caja mientras ésta se desliza. Igual que en el ejemplo 7.2, con el enfoque de energía del inciso *a*) obtendremos la magnitud de la fuerza no gravitacional que efectúa trabajo (en este caso la fricción). En el inciso *b*) podremos calcular cuánto trabajo no gravitacional efectúa esa fuerza mientras la caja se desliza rampa abajo. Entonces podremos usar el enfoque de energía otra vez para obtener la rapidez de la caja en la base de la rampa.

PLANTEAR: La primera parte del movimiento es del punto 1, la base de la rampa, al punto 2, donde la caja se para instantáneamente. En la segunda parte del movimiento, la caja vuelve a la base de la rampa, que llamaremos punto 3 (figura 7.11a). Tomaremos $y = 0$ (y, por lo tanto, $U_{\text{grav}} = 0$) en el piso, así que $y_1 = 0$, $y_2 = (1.6 \text{ m}) \text{ sen } 30^\circ = 0.80 \text{ m}$, y $y_3 = 0$. Nos dicen que $v_1 = 5.0 \text{ m/s}$ y $v_2 = 0$ (la caja está instantáneamente en reposo en el punto 2). La incógnita en el inciso *a*) es f , la magnitud de la fuerza de fricción. En el inciso *b*), la incógnita es v_3 , la rapidez en la base de la rampa.

EJECUTAR: *a*) Las energías son

$$K_1 = \frac{1}{2}(12 \text{ kg})(5.0 \text{ m/s})^2 = 150 \text{ J}$$

$$U_{\text{grav},1} = 0$$

$$K_2 = 0$$

$$U_{\text{grav},2} = (12 \text{ kg})(9.8 \text{ m/s}^2)(0.80 \text{ m}) = 94 \text{ J}$$

$$W_{\text{otras}} = -fs$$

donde f es la magnitud desconocida de la fuerza de fricción y $s = 1.6 \text{ m}$. Con la ecuación (7.7), obtenemos

$$K_1 + U_{\text{grav},1} + W_{\text{otras}} = K_2 + U_{\text{grav},2}$$

$$W_{\text{otras}} = -fs = (K_2 + U_{\text{grav},2}) - (K_1 + U_{\text{grav},1})$$

$$f = \frac{(K_2 + U_{\text{grav},2}) - (K_1 + U_{\text{grav},1})}{s}$$

$$= \frac{(0 + 94 \text{ J}) - (150 \text{ J} + 0)}{1.6 \text{ m}} = 35 \text{ N}$$

La fuerza de fricción de 35 N, actuando a lo largo de 1.6 m, reduce la energía mecánica de la caja de 150 J a 94 J (figura 7.11c).

7.11 a) Una caja sube deslizando por una rampa, se para y se desliza de regreso. **b)** Gráficas de barras de la energía para los puntos 1, 2 y 3.

a) La caja se desliza hacia arriba del punto 1 al punto 2, después regresa hacia abajo a su posición inicial (punto 3). La caja se mueve a una rapidez v_3 cuando regresa al punto 3.

b) La fuerza de fricción efectúa trabajo negativo sobre la caja conforme ésta se mueve, de modo que disminuye la energía mecánica total $E = K + U_{\text{grav}}$.

En el punto 1: $E = K + U_{\text{grav}}$
 En el punto 2: $E = K + U_{\text{grav}}$
 En el punto 3: $E = K + U_{\text{grav}}$

b) Al bajar del punto 2 al punto 3 en la base de la rampa, tanto la fuerza de fricción como el desplazamiento invierten su dirección pero tienen las mismas magnitudes, así que el trabajo por fricción tiene el mismo valor negativo cuando va del punto 1 al punto 2. El trabajo total efectuado por la fricción entre los puntos 1 y 3 es

$$W_{\text{otras}} = W_{\text{fric}} = -fs = -2(35 \text{ N})(1.6 \text{ m}) = -112 \text{ J}$$

Del inciso *a*), $K_1 = 150 \text{ J}$ y $U_{\text{grav},1} = 0$. La ecuación (7.7) da, entonces,

$$K_1 + U_{\text{grav},1} + W_{\text{otras}} = K_3 + U_{\text{grav},3}$$

$$K_3 = K_1 + U_{\text{grav},1} - U_{\text{grav},3} + W_{\text{otras}}$$

$$= 150 \text{ J} + 0 - 0 + (-112 \text{ J}) = 38 \text{ J}$$

La caja vuelve a la base de la rampa con sólo 38 J de los 150 J originales de energía mecánica (figura 7.11b). Usando $K_3 = \frac{1}{2}mv_3^2$,

$$v_3 = \sqrt{\frac{2K_3}{m}} = \sqrt{\frac{2(38 \text{ J})}{12 \text{ kg}}} = 2.5 \text{ m/s}$$

EVALUAR: Observe que la rapidez de la caja cuando regresa a la base de la rampa, $v_3 = 2.5 \text{ m/s}$, es menor que la rapidez $v_1 = 5.0 \text{ m/s}$ con que salió de ese punto. Eso está bien: se perdió energía debido a la fricción.

En el inciso *b*) aplicamos la ecuación (7.7) a los puntos 1 y 3, considerando el viaje redondo en conjunto. De forma alternativa, podríamos haber considerado la segunda parte del movimiento por sí mismo y aplicado la ecuación (7.7) a los puntos 2 y 3. Inténtelo y sabrá si obtiene el mismo resultado para v_3 .

Figura 13: Imagen tomada de Young y Freedman (2009, pp. 221-222) que expone la resolución de un problema donde el trabajo de rozamiento se calcula de manera operacional como fuerza por distancia.

En D, el autor asimila la distancia sobre la que actúa la fricción con el desplazamiento de un automóvil que se desacelera producto de accionar los frenos. Sin embargo, se desliza un error conceptual cuando se afirma que la fricción no depende de la velocidad. Este enunciado no es de validez general, es cierto en el contexto del

rozamiento entre sólidos; no obstante, en el caso del rozamiento sólido-fluido, como por ejemplo un objeto que cae en el seno de un líquido como miel o detergente, la resistencia del fluido es proporcional a la velocidad e incluso, dependiendo de los órdenes de magnitud de ésta, al cuadrado de la velocidad.

El teorema del trabajo y la energía también se aplica cuando disminuye la rapidez. Mientras más energía cinética tenga algo, más trabajo se requiere para detenerlo. El doble de energía cinética equivale al doble del trabajo. Cuando oprimes el pedal del freno de un auto y lo haces patinar, es porque el asfalto hace trabajo sobre él. El trabajo es la fuerza de fricción multiplicada por la distancia durante la cual actúa esa fuerza de fricción [...] La fricción no depende de la rapidez. La variable es la distancia necesaria para detenerse. Esto significa que un auto que avanza con el doble de rapidez que otro tiene cuatro veces la energía cinética de éste, y necesita cuatro veces el trabajo para detenerse, y en consecuencia necesita cuatro veces la distancia para detenerse (Hewitt, 2004, p. 110).

Se debe recalcar que no en todos los ejemplares se presentan desarrollos poco eficientes desde el punto de vista didáctico sobre este tema. Por ejemplo, en A, los autores señalan que el trabajo de fricción depende de la trayectoria y en el caso de la fricción en fluidos se explicita que ésta se opone a la velocidad y su valor depende de ésta pero no de la posición. Luego analizan el caso de una partícula que cae en un fluido bajo la acción de la gravedad y de la fuerza de fricción, estableciendo que en ese caso se verifica que la variación de energía mecánica entre dos puntos A y B es igual al trabajo de la fuerza de fricción (esto es $(E_k + E_p)_B - (E_k + E_p)_A = W'$). Culmina la descripción del ejemplo asimilando este trabajo con la ganancia o pérdida de energía debida a esta fuerza no conservativa. Agregan: “El trabajo no conservativo W’ representa así una transferencia de energía que, al corresponder a un movimiento molecular, es en general irreversible” [...] (Alonso y Finn, 1976, p. 229). Cabe aclarar que los autores no

explicitan que el trabajo de fricción no admite una definición operacional ni sugieren la posibilidad de que este trabajo se calcule como fuerza por desplazamiento.

En E, se señalan algunas cuestiones relativas al trabajo de la fricción y se anticipa al lector que las mismas se retomarán en otra sección:

Aunque se requiere mucho cuidado para calcular el trabajo hecho por la fuerza de fricción (véase Secc. 13-3), parece evidente que la magnitud del trabajo (negativo) realizado por la fricción es mayor en el segundo caso, porque la fuerza de fricción opera en una distancia más grande. En este caso, el trabajo dependerá de la trayectoria tomada entre las posiciones inicial y final del objeto en cuestión (Resnick *et al.*, 2011, p. 259).

En el capítulo 13, los autores analizan las expresiones para el trabajo de fricción considerando diferentes elecciones de sistemas (sistema bloque, sistema bloque-superficie) y concluyen que es incorrecto definirlo como fuerza de fricción por desplazamiento, plantean que hay que postular el trabajo de fricción como la variación de la energía interna de un sistema. En el marco de dicho desarrollo explican:

La fuerza de fricción que opera sobre una superficie en deslizamiento no es una sola que se aplique en un solo punto, sino que se debe a muchas más pequeñas que actúan en varios puntos (en la figura 5-14 se indica el carácter microscópico de esta fuerza). Podemos considerarla como el efecto neto de las fuerzas en muchas soldaduras microscópicas, algunas de las cuales ocurren donde las protuberancias o salientes del bloque se encuentran con la superficie de la mesa. Al moverse el bloque por un desplazamiento s , sólo las soldaduras en la superficie móvil contribuyen al trabajo; en las situadas en la superficie de la mesa el desplazamiento es cero, y por ello lo es también su aportación al trabajo. Por lo tanto una parte de la fuerza de fricción no contribuye al trabajo, y en este modelo no debe sorprendernos que $|W_f| < f s^*$. [...] podemos describir los procesos de fricción como

aquellos en que, según cómo definamos la frontera del sistema, la energía puede ser transferida entre los objetos del sistema o entre éste y su ambiente; en ambos casos cambia la energía interna de los objetos. Sin un modelo microscópico no sabemos como la ganancia total de energía interna se comparte entre los objetos del sistema; por tanto, tampoco podremos calcular el trabajo efectuado por la fuerza de fricción causante de esta transformación (Resnick *et al.*, 2011, p. 283).

En la nota al pie que acompaña este texto, los autores remiten a un artículo de Sherwood y Bernard (1984), que analiza un modelo para la fricción.

De manera similar, en F, los autores también mencionan la imposibilidad de calcular el trabajo de la fuerza de rozamiento y apoyan sus argumentos en la misma publicación de Sherwood y Bernard (1984). En los problemas resueltos utilizan el término $-f_k d$ pero no dicen que este sea el trabajo de la fuerza de fricción. En todas las ocasiones en que se precisó calcularlo se lo conceptualizó como igual al cambio en la energía mecánica o a la transformación de ésta en energía interna. Por ejemplo:

...el aumento de energía interna del sistema es igual al producto de la fuerza de fricción y la longitud de trayectoria en la que se mueve el libro. En resumen, **una fuerza de fricción transforma la energía cinética de un sistema en energía interna, y el aumento en energía interna del sistema es igual a su disminución en energía cinética** (Serway y Jewett, 2007, p. 206).

En G, en una sección titulada “Problemas en que interviene el rozamiento cinético”, el autor afirma “Las fuerzas de rozamiento cinético ejercidas por una superficie sobre otra, cuando las superficies deslizan en contacto mutuo, disminuyen la energía mecánica total de un sistema e incrementan la energía térmica” (Tipler, 1993, p. 181). Seguidamente, a partir de la utilización de la conservación de la energía y mediante manipulación algebraica, obtienen una expresión en la que está presente el

término $f_k \Delta s$. Además mediante una nota al pie, el autor remite al artículo de Sherwood y Bernard (1984) antes señalado. Así puede leerse:

Obsérvese que la magnitud $-f \Delta s$ no es trabajo realizado por rozamiento sobre el bloque deslizando, puesto que un análisis cuidadoso muestra que el desplazamiento real de la fuerza de movimiento cinético no es, en general, igual al desplazamiento del bloque. ¹ Sin embargo, puede demostrarse que $f \Delta s$ es igual al incremento de energía térmica del sistema bloque mesa debido a la disipación de energía mecánica del sistema. Esta energía térmica se produce en la superficie inferior del bloque y en la superior de la mesa cuando el bloque se desliza sobre ésta (Tipler, 1993, p. 181).

Algunos entienden que la acción de la fuerza de fricción tiene que ver con la conversión de energía mecánica en otro tipo de energía (aquí hay diferencias en la forma de nombrarlas: energía interna o energía térmica). Se señala explícitamente que siempre que las situaciones involucren la disipación de energía debido al trabajo de la fuerza de fricción, se debe tomar en consideración al calor. Sin embargo, no todos los ejemplares ofrecen una definición para este concepto (por ejemplo en B no se encontró una definición en los capítulos sujetos a revisión). Entre los ejemplares que sí la presentan, mayoritariamente se adhiere a que corresponde a una transferencia de energía entre el sistema y su entorno como consecuencia de una diferencia de temperatura entre ambos. Por ejemplo, en F se establece que: “El **calor** (capítulo 20) es un mecanismo de transferencia de energía que se activa mediante una diferencia de temperatura entre dos regiones del espacio” (Serway y Jewett, 2007, p. 196). En G se encontró preocupación de los autores por diferenciar el calor y la temperatura, y luego de haber establecido la conservación de la energía incluyendo al calor (primera ley de la termodinámica) la utilizan en la resolución de problemas mecánicos.

En E, se halló que se especifica que el calor es “energía en tránsito”. Así puede leerse:

El calor es energía en tránsito: Así como nunca hablamos de la “cantidad de trabajo contenida en un cuerpo”, tampoco decimos “la cantidad de calor contenida en un cuerpo”. Cuando se transfiere calor del sistema A al sistema B, no es correcto decir que el “sistema A tiene menos calor”. Más bien, deberíamos decir que “el sistema A tiene menos energía” porque parte de ella se perdió por el calor transferido al sistema B. En forma parecida, si el sistema A realiza trabajo en el sistema B, nunca decimos que “el sistema A tiene menor trabajo”, sino que “el sistema A tiene menos energía”, porque utilizó parte de ella para efectuar trabajo con el sistema B (Resnick *et al.*, 2011, p.290).

En la cita precedente si bien se plantea que el calor es energía, cuestión que fue criticada por varios investigadores, entre ellos Michinel y D’Alessandro (1993, 1994), se recogen algunos de los resultados emanados desde la investigación sobre ideas alternativas referentes al tema (Bauman, 1992 b; Jewett, 2008a).

Por su parte, solamente en A se encontró una definición diferente. En dicho ejemplar se afirma:

En cada interacción individual entre las moléculas del gas y la pared, se ejerce una pequeña fuerza y se produce un pequeño desplazamiento de las moléculas en la pared. Si pudiéramos computar cada una de estas cantidades infinitesimales de trabajo y sumarlas, tendríamos el trabajo exterior correspondiente hecho por el sistema. Sin embargo, esta técnica es obviamente casi imposible debido al gran número de factores que intervienen. Por consiguiente, definiremos un nuevo concepto macroscópico o estadístico llamado *calor*.

El valor promedio del trabajo externo o de la energía intercambiada entre un sistema y el medio que lo rodea debido a intercambios individuales de energía que ocurren como resultado de choques entre moléculas del sistema y moléculas del

medio que lo rodea, se llama *calor*, Q , siempre que no pueda expresarse macroscópicamente como fuerza por distancia (Alonso y Finn, 1976, p. 273).

Esta definición está muy próxima a la que se propone en Domenéch *et al.* (2003).

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

Dado que la tendencia observada en los libros de texto reveló que las subvariables V4.6 y V 4.7 no aparecen dissociadas, los resultados se presentarán unificados en un solo apartado. Desde la investigación educativa se señaló que el lenguaje utilizado en las lecciones energéticas es un factor decisivo en la comprensión que puedan lograr los estudiantes. Jewett (2008 c) indica que se deben evitar declaraciones incompletas y especificar la fuerza que hace el trabajo y el sistema que es el destinatario del mismo. Las alusiones a estas cuestiones están presentes en todos los libros inspeccionados. En algunos se las considera de manera implícita, en tanto en otros se lo hace de forma explícita y reiterativa a lo largo de todo el desarrollo.

En A, si bien estas facetas están contempladas, lo son de manera menos explícita que en algunos de los otros ejemplares considerados. La tendencia mayoritariamente observada es identificar la fuerza que hace trabajo y, en general, dejar al lector la tarea de suponer cuál es el objeto o sistema sobre el que se efectúa dicho trabajo. A modo de ejemplo, a continuación se transcriben enunciados de problemas que en dicho libro se presentan resueltos:

Ejemplo 8.2. Un automóvil cuya masa es de 1200 kg sube por una colina de 5° de inclinación con velocidad constante de 36 km por hora. Calcular el trabajo efectuado por el motor en 5 minutos y la potencia desarrollada por él (Alonso y Finn, 1976, p. 207).

Ejemplo 8.3. Calcular el trabajo necesario para extender el resorte de la Fig. 8-9 en una distancia de 2 cm sin aceleración. Se sabe que al colgar del resorte un cuerpo de 4 kg de masa, la longitud del resorte aumenta en 1,50cm (Alonso y Finn, 1976, p. 208).

En ambos ejemplos no se identifica cuál es el sistema o cuerpo sobre el que se realiza trabajo. En el segundo, además en el enunciado no se presenta información que permita delimitar cuál es la fuerza que efectúa el mismo. Esto se contempla sutilmente en la resolución presentada, por ejemplo, cuando se afirma: “Para extender el resorte una distancia x , sin aceleración, aplicamos ahora una fuerza $F=kx$. Lo podemos hacer halando lentamente una cuerda atada al resorte” (Alonso y Finn, 1976, p. 208). En el ejemplo 8.4., cuyo enunciado es: “Una fuerza $F=6t$ N actúa sobre una partícula de 2 kg de masa. Si la partícula parte del reposo, hallar el trabajo efectuado por la fuerza durante los primeros 2 s” (Alonso y Finn, 1976, p. 208), se identifica a la fuerza como la ejecutora del trabajo y a la partícula como la receptora del mismo. Más adelante, en el problema resuelto 8.7., se aborda el caso de un péndulo. Los autores dicen explícitamente “La fuerza centrípeta F_N no efectúa ningún trabajo, porque en todo momento es perpendicular a la velocidad. El trabajo de la fuerza de gravedad mg puede ser computado con ayuda de la ec. (8.16) [...]” (Alonso y Finn, 1976, p. 213). Aquí hay dos cuestiones que resaltar, en primer lugar los autores indican cuáles son las fuerzas que realizan trabajo y al lector le queda por inferir que la partícula receptora del mismo es la masa m que cuelga del hilo. En segundo lugar, cuando aclaran que la fuerza centrípeta no efectúa trabajo, lo hacen estableciendo que esto ocurre porque la fuerza es perpendicular a la velocidad. El lector debe establecer las conexiones necesarias para comprender por qué no se hace trabajo cuando fuerza y velocidad son ortogonales. Es decir, el lector debe deducir que el hecho de que el trabajo es cero porque fuerza y desplazamiento son perpendiculares, equivale a afirmar que el trabajo es cero porque

fuerza y velocidad lo son (un lector atento reconocerá que el desplazamiento y la velocidad son vectores paralelos).

En B, estos aspectos también se contemplan. Se citarán dos enunciados de problemas resueltos que se consideraron representativos para ilustrar estas cuestiones. En el siguiente fragmento: “Un objeto se mueve en línea recta con un desplazamiento dado por $\vec{\ell} = (3.0m)\vec{i} + (4.0m)\vec{j}$. Determine el trabajo realizado por la fuerza $\vec{F} = (8.0N)\vec{i} + (-8.0N)\vec{j}$ sobre el objeto. Ambos vectores se muestran en la figura 8.5” (Gettys *et al.*, 2005, p. 168) es claro cuál es el receptor del trabajo (el objeto) y cuál es el agente que lo provoca (la fuerza). Algo similar sucede en el problema siguiente, al que volveremos en el capítulo siguiente, cuando se analice el trabajo de fricción:

Un objeto de 0.4 kg se mueve en una trayectoria circular de 0.50 m de radio sobre un tablero horizontal, como se muestra en la figura 8.11. El coeficiente de fricción es $\mu_k=0.24$. Determine el trabajo realizado por la fuerza de fricción sobre el objeto cuando se mueve un cuarto de vuelta (Gettys *et al.*, 2005, p. 172).

En C, en la parte principal del texto el autor advierte que se debe especificar si el trabajo es realizado por un objeto o sobre un objeto. Paralelamente, dicha aclaración 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 contempla esta faceta e identifica cuál es el sistema receptor del trabajo (por lo general, se trata de un objeto extenso que puede ser considerado puntual). Se han seleccionado los siguientes dos problemas para ilustrar una tendencia general en el libro, en la que en el enunciado o en la resolución el autor contempla tanto la identificación del agente que realiza el trabajo como el receptor del mismo:

EJEMPLO 7–2 Trabajo efectuado sobre una mochila. *a)* Determine el trabajo que un alpinista debe efectuar sobre una mochila de 15.0 kg al subirla por una colina de altura $h=10.0$ m, como se muestra en la figura 7-4a. Determine también *b)* el trabajo efectuado por la gravedad sobre la mochila y *c)* el trabajo neto efectuado sobre la mochila. Por sencillez, suponga que el movimiento es suave y a velocidad constante (es decir, la aceleración es despreciable) (Giancoli, 2009, p. 166).

EJEMPLO 7–5 Trabajo efectuado sobre un resorte. *a)* Una persona jala el resorte de la figura 7-10, alargándolo 3.0 cm, lo cual requiere una fuerza máxima de 75 N. ¿Cuánto trabajo realiza la persona? *b)* Si en cambio, la persona comprime el resorte 3.0 cm, ¿cuánto trabajo realiza ahora? (Giancoli, 2009, p. 171).

La resolución propuesta por el autor para cada problema no se transcribirá. Sólo se mencionará que en la resolución que corresponde al primer problema pueden leerse afirmaciones como “[...] el trabajo realizado por el alpinista sobre la mochila [...] El trabajo efectuado por la gravedad sobre la mochila es [...]” (Giancoli, 2009, p. 166) que dan cuenta de estos aspectos. Algo similar acontece con la resolución propuesta para el segundo problema, en la que puede leerse: “El trabajo efectuado por la persona sobre el resorte es [...]” (Giancoli, 2009, p. 171).

Similarmente, en D se encontraron frases en las que estas cuestiones se insinúan. Por ejemplo, en el párrafo que se transcribe a continuación, puede inferirse el énfasis del autor en identificar sobre qué sistema se efectúa trabajo. Además establece que debe haber una fuerza que provoque el desplazamiento de un objeto para decir que ésta realiza un trabajo sobre el mismo, de este modo se distingue el trabajo del esfuerzo (cuestión sobre la que ya se ha expuesto en secciones previas de este capítulo). El párrafo de interés es el siguiente:

Un pesista que sujeta unas pesas de 1000 N sobre la cabeza no hace trabajo sobre las pesas. Se puede cansar de hacerlo, pero si las pesas no se mueven por la fuerza que haga, no hace trabajo *sobre* las pesas. Se puede hacer trabajo sobre los músculos, que se estiran y se contraen, y ese trabajo es la fuerza por la distancia, en una escala biológica; pero ese trabajo no se hace sobre las pesas. Sin embargo, el levantar las pesas es distinto. Cuando el pesista sube las pesas desde el piso, si efectúa trabajo (Hewitt, 2004, p.105).

En otra sección del capítulo se encontró una alusión al receptor del trabajo (el auto) pero sin identificar al agente responsable del mismo. La frase que pone esto en relieve es: “Cuando un auto acelera, su aumento de energía cinética se debe al trabajo que se efectúa sobre él” (Hewitt, 2004, p. 109).

En E, en reiteradas oportunidades, los autores, principalmente en problemas resueltos, identifican los aspectos aquí planteados. Se citan los enunciados de dos problemas que se consideraron representativos para ilustrar la tendencia observada en dicho ejemplar.

Problema Resuelto 11-2. Un niño jala un trineo de 5.6 kg una distancia de $s=12$ m con rapidez constante sobre una superficie horizontal ¿Qué trabajo realiza en él si el coeficiente de fricción cinética es μ_k es 0.20 y si la cuerda forma un ángulo de $\phi=45^\circ$ con la horizontal? (Resnick *et al.*, 2011, p. 233).

En este problema, se identifica tanto al receptor del trabajo (el trineo) como al agente que ejerce la fuerza (el niño), aun cuando la magnitud de dicha fuerza no sea conocida. Los autores, a partir de consideraciones dinámicas y tratando implícitamente al trineo como una partícula, encuentran la magnitud de la fuerza en cuestión. Luego el cálculo del trabajo se reduce a un manejo operatorio de la definición.

Problema resuelto 11-4. Un resorte pende verticalmente en estado relajado. Un bloque de masa $m=6.40$ kg está conectado a él, pero se sostiene en su lugar, de

modo que al inicio el resorte no se estira. A continuación se baja lentamente la mano que sostiene el bloque (Fig. 11-15a), así que el bloque desciende a velocidad constante hasta que alcanza un punto donde cuelga en equilibrio una vez quitada la mano. En ese momento se mide el resorte y se descubre que se estiró una distancia $d=0.124$ m respecto a la longitud en estado relajado. Calcule el trabajo que en el proceso efectúa en el bloque a) la gravedad, b) el resorte y c) la mano (Resnick *et al.*, 2011, p. 237).

Este último problema es particularmente interesante porque, aun cuando no se lo haga explícito en la resolución presentada, permite poner en relieve una cuestión a veces un tanto olvidada en los libros de texto introductorios de Física. Cuando las superficies sobre las que se apoyan los objetos no son estáticas, la fuerza normal ejercida por éstas, transfiere energía por trabajo; cuestión que fuera advertida por Keepports (2006) y luego formalizada por Díaz y González (2011). En este problema, la fuerza que ejerce la mano sobre el bloque (fuerza normal) realiza trabajo porque su punto de aplicación se desplaza (la superficie no es estática). Otras dos situaciones similares se encontraron en otros dos ejemplares y se describen a continuación. En un problema resuelto en J, se pide hallar la magnitud de la fuerza que ejerce la mano sobre la pelota hasta que ésta la abandona al ser arrojada, pero no se identifica esta fuerza con la normal. En la resolución se plantea: “En este ejemplo, en cambio, debemos incluir también el trabajo no gravitacional efectuado por la mano” (Young y Freedman, 2009, p. 218). En F, en cambio, los autores contemplan esto, en la parte principal del texto:

Ahora piense como crear la situación en que las únicas fuerzas sobre el objeto son la fuerza del resorte y la fuerza gravitacional. Debe soportar el objeto en el punto más alto y después quitar su mano y dejar que el objeto caiga. Si lo hace, sabe que, cuando el objeto alcanza una posición 2.0 cm abajo de su mano, se estará moviendo, que es consistente con la ecuación 7.17. En el objeto se invierte trabajo

neto positivo y el resultado es que tiene una energía cinética conforme pasa a través del punto 2.0 cm. La única manera de evitar que el objeto tenga una energía cinética después de moverse 2.0 cm es bajarlo lentamente con su mano. Sin embargo, después, existe una tercera fuerza invirtiendo trabajo en el objeto, la fuerza normal de su mano. Si este trabajo se calcula y suma al invertido por la fuerza del resorte y la fuerza gravitacional, el trabajo neto invertido en el objeto es cero, que es consistente porque no es móvil en el punto 2.0 cm (Serway y Jewett, 2007, pp.175-176).

Además, en el último ejemplar mencionado, los autores a lo largo de todo el desarrollo exponen párrafos en los que se identifica cuál es el sistema involucrado y cuál es el agente que realiza el trabajo. Por ejemplo, el siguiente fragmento da cuenta de esto:

Las ecuaciones 7.11 y 7.12 describen el trabajo empleado por el resorte sobre el bloque. Ahora considere el trabajo invertido en el bloque por un *agente externo* conforme el agente aplica una fuerza sobre el bloque y el bloque se mueve *muy lentamente* de $x_i = x_{\text{máx}}$ a $x_f = 0$, como en la figura 7.10. Se puede calcular este trabajo al notar que, en cualquier valor de la posición, la *fuerza aplicada* F_{ap} es igual en magnitud y opuesta en dirección a la fuerza del resorte F_s , de modo que $\vec{F} = F_{\text{ap}} \vec{i} = -\vec{F}_s = -(-kx) \vec{i} = kx \vec{i}$. Debido a eso, el trabajo realizado por esta fuerza aplicada (el agente externo) en el sistema bloque–resorte es

$$W_{\text{ap}} = \int \vec{F}_{\text{ap}} d\vec{r} = \int_{x_i}^{x_f} kx \vec{i} (dx \vec{i}) = \int_{x_{\text{máx}}}^0 kx dx = \frac{1}{2} kx_{\text{máx}}^2$$

Este trabajo es igual al negativo del trabajo invertido por la fuerza del resorte para este desplazamiento (ecuación 7.11). El trabajo es negativo porque el agente externo debe empujar hacia adentro sobre el resorte para evitar que se expanda y esta dirección es opuesta a la dirección del desplazamiento del punto de aplicación

de la fuerza conforme el bloque se traslada desde x_{\max} a 0 (Serway y Jewett, 2007, pp. 172-173).

En G, estas especificaciones no se dan tan asiduamente como en F, pero sí se las tiene en consideración en algunos de los problemas que se presentan resueltos. Por ello se ha optado por incluir este libro entre aquellos que especifican ambos aspectos. Por ejemplo en el ejercicio siguiente: “Se ejerce una fuerza de 12 N sobre un bloque bajo un ángulo $\theta=20^\circ$, como indica la figura 6.1. ¿Qué trabajo realiza la fuerza sobre el bloque, si éste se desplaza 3 m a lo largo de la mesa?” (Tipler, 1993, p. 142). En él el autor identifica el agente que efectúa el trabajo (la fuerza) y también el sistema sobre el que se realiza el trabajo (el bloque), aun cuando no se diga explícitamente que el sistema está constituido sólo por el bloque. En tanto, en el siguiente problema, se identifica al agente (la fuerza que ejerce el resorte) pero no al sistema receptor del trabajo (el bloque que está conectado al resorte):

Un bloque de 4 kg apoyado sobre una mesa sin rozamiento está sujeto a un muelle horizontal que obedece la ley de Hooke y ejerce una fuerza $F=-kx\mathbf{i}$ en donde x se mide desde la posición de equilibrio del bloque y $k=400\text{ N/m}$. El muelle está originalmente comprimido con el bloque en la posición $x_1=-5\text{ cm}$ (figura 6.10). Calcular (a) el trabajo realizado por el muelle cuando el bloque se desplaza desde la posición $x_1=-5\text{ cm}$ hasta la posición de equilibrio $x_2=0$ y (b) la velocidad del bloque en la posición $x_2=0$ (Tipler, 1993, p. 148).

En H y en I, también se detectaron alusiones, aunque menos explícitas que lo sugerido en Jewett (2008 c), a estos aspectos. Por ejemplo, a través de afirmaciones como las citadas seguidamente, se contemplan estas cuestiones:

¿Qué trabajo realiza una fuerza de 60 N al arrastrar un carro como el de la figura 8.1 a través de una distancia de 50 m, cuando la fuerza transmitida por el manubrio forma un ángulo de 30° con la horizontal? (Tippens, 2007, p. 159).

Una fuerza de impulsión de 80 N mueve un bloque de 5 kg hacia arriba por un plano inclinado a 30° , como se muestra en la figura 8.2. El coeficiente de fricción cinética es de 0.25 y la longitud del plano es de 20 m. (a) Calcule el trabajo que realiza cada una de las fuerzas que actúan sobre el bloque, (b) Demuestre que el trabajo neto realizado por estas fuerzas tiene el mismo valor que el trabajo de la fuerza resultante (Tippens, 2007, p. 160).

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. También, cuando levantamos un objeto, nosotros realizamos trabajo sobre el objeto [...] (Wilson *et al.*, 2007, p. 144).

En una sección posterior, los autores insisten en identificar cuál es el sistema sobre el que se efectúa el trabajo, sin embargo, no proceden de manera análoga en la identificación del agente responsable del mismo. Tal como se expone en el siguiente fragmento:

Una forma de energía que está íntimamente asociada con el trabajo es la *energía cinética*. (Describiremos otra forma de energía, la *energía potencial*, en la sección 5.4.) Considere un objeto en reposo sobre una superficie sin fricción. Una fuerza horizontal actúa sobre el objeto y lo pone en movimiento. Se efectúa trabajo *sobre* el objeto, pero ¿a dónde “se va” el trabajo, por decirlo de alguna manera? Se va al objeto, poniéndolo en movimiento, es decir, modificando sus condiciones *cinéticas*. En virtud de su movimiento, decimos que el objeto ha ganado energía: energía cinética, que lo hace capaz de efectuar trabajo (Wilson *et al.*, 2007, p. 148).

Similarmente, 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 (esto es el sistema sobre el que se hace el trabajo) es el libro que se está moviendo:

CUIDADO. Tenga presente quién hace el trabajo. Siempre hablamos de trabajo realizado *sobre* un cuerpo específico *por* una fuerza determinada. Nunca olvide especificar exactamente qué fuerza realiza el trabajo en cuestión. Si levantamos un libro, ejercemos una fuerza hacia arriba sobre el libro y el desplazamiento de éste es hacia arriba, así que el trabajo realizado por la fuerza de levantamiento sobre el libro es positivo. En cambio, el trabajo realizado por la fuerza *gravitacional* (peso) sobre el libro que se levanta es *negativo*, porque tal fuerza es opuesta al desplazamiento hacia arriba (Young y Freedman, 2009, p. 185).

La misma impronta puede leerse en la resolución propuesta en J a un problema que involucra un dispositivo de deslizador de riel de aire con un resorte conectado en uno de sus extremos. Si bien el enunciado no da indicios sobre cuál es el agente que ejecuta el trabajo, esto sí está contemplado en la resolución; los autores utilizan frases como “la ecuación (6.10) da el trabajo efectuado sobre el resorte al estirarse; no obstante, si queremos usar el teorema trabajo-energía necesitaremos el trabajo efectuado *por* el resorte *sobre* el deslizador, es decir, el negativo de la ecuación (6.10)” (Young y Freedman, 2009, p. 196).

CAPÍTULO 7: RELACIONES ENTRE TRABAJO Y ENERGÍA DE SISTEMAS DISCRETOS

En este capítulo se contemplan aspectos vinculados a las relaciones entre trabajo y energía que se presentan en los libros de texto en las secciones de los mismos que abordan trabajo y energía de una partícula y trabajo y energía de sistemas de partículas. En primer lugar, se describirán algunos aspectos vinculados al teorema de trabajo y energía cinética y luego se caracteriza el tratamiento dispensado al carácter conservativo de una fuerza y su vínculo con las energías potenciales.

7. 1. Presentación del teorema de trabajo y energía cinética

Los resultados recogidos que permiten caracterizar esta variable, se resumen en la Tabla VI.

Sub dimensiones		Libros de texto										
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	Tot
V5.1. Deducción a partir de la segunda ley de Newton	V5.1.1. de manera algebraica para una fuerza constante		x	x	x	x		x	x	x	x	8
	V5.1.2. de manera integral para una fuerza arbitraria	x	x	x		x	x	x			x	7
V5.2. Delimitación del alcance y las limitaciones del teorema	V5.2.1. Se presenta		x	x		x	x				x	5
	V5.2.2. No se presenta	x			x			x	x	x		5
V.5.3. Explicitación del sistema sobre el que se aplica el teorema	V5.3.1. Se explicita			x			x	x				3
	V5.3.2. No se explicita	x	x		x	x			x	x	x	7

Tabla VI: Síntesis de resultados. Variable V5: Presentación del teorema de trabajo y energía cinética.

7.1.1. Acerca de la deducción del teorema a partir de la segunda ley de Newton

El teorema de trabajo y energía es deducido mediante procedimientos algebraicos a partir de la segunda ley de Newton, en la mayoría de los libros de texto

inspeccionados (B, C, D, E, G, H, I, J) para el caso de una fuerza constante y un desplazamiento rectilíneo. La mayoría de éstos, a su vez, presentan la deducción de manera integral para una fuerza arbitraria, al igual que otros dos (A, F) que sólo lo hacen de esta manera. En tres libros (D, H, I) se lo encontró desarrollado siguiendo solamente la primera vía.

En las Figuras 14 y 15 se muestran dos de estos desarrollos, que fueron escogidos como representativos.

7.5 Energía cinética y el teorema trabajo-energía cinética

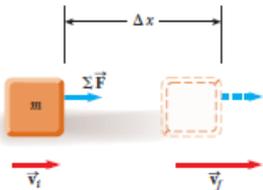


Figura 7.12 Un objeto que se somete a un desplazamiento $\Delta\vec{r} = \Delta x\hat{i}$ y un cambio en velocidad bajo la acción de una fuerza neta constante $\Sigma\vec{F}$.

Ya se investigó el trabajo y se le identificó como un mecanismo de transferencia de energía en un sistema. Un resultado posible de hacer trabajo sobre un sistema es que el sistema cambia su rapidez. En esta sección se investiga esta situación y se introduce el primer tipo de energía que un sistema puede tener, llamada *energía cinética*.

Considere un sistema que consiste de un solo objeto. La figura 7.12 muestra un bloque de masa m que se mueve a través de un desplazamiento dirigido hacia la derecha bajo la acción de una fuerza neta $\Sigma\vec{F}$, también dirigida hacia la derecha. Se sabe de la segunda ley de Newton que el bloque se mueve con una aceleración \vec{a} . Si el bloque (y por tanto la fuerza) se mueven a través de un desplazamiento $\Delta\vec{r} = \Delta x\hat{i} = (x_f - x_i)\hat{i}$, el trabajo neto realizado sobre el bloque por la fuerza neta $\Sigma\vec{F}$ es

$$W_{\text{neto}} = \int_{x_i}^{x_f} \Sigma F dx \quad (7.14)$$

Al aplicar la segunda ley de Newton, se sustituye para la magnitud de la fuerza neta $\Sigma F = ma$ y después se realizan las siguientes manipulaciones de la regla de la cadena en el integrando:

$$W_{\text{neto}} = \int_{x_i}^{x_f} ma dx = \int_{x_i}^{x_f} m \frac{dv}{dt} dx = \int_{x_i}^{x_f} m \frac{dv}{dx} \frac{dx}{dt} dx = \int_{v_i}^{v_f} mv dv \quad (7.15)$$

$$W_{\text{neto}} = \frac{1}{2}mv_f^2 - \frac{1}{2}mv_i^2$$

donde v_i es la rapidez del bloque cuando está en $x = x_i$ y v_f es su rapidez en x_f .

La ecuación 7.15 se generó por la situación específica de movimiento unidimensional, pero es un resultado general. Dice que el trabajo invertido por la fuerza neta en una partícula de masa m es igual a la diferencia entre los valores inicial y final de una cantidad $\frac{1}{2}mv^2$. La cantidad $\frac{1}{2}mv^2$ representa la energía asociada con el movimiento de la partícula. Esta cantidad es tan importante que se le ha dado un nombre especial, **energía cinética**:

$$K = \frac{1}{2}mv^2 \quad (7.16)$$

La energía cinética es una cantidad escalar y tiene las mismas unidades que el trabajo. Por ejemplo, un objeto de 2.0 kg que se mueve con una rapidez de 4.0 m/s tiene una energía cinética de 16 J. La tabla 7.1 menciona las energías cinéticas de diferentes objetos.

La ecuación 7.15 afirma que el trabajo realizado en una partícula por una fuerza neta $\Sigma\vec{F}$ que actúa sobre él es igual al cambio en energía cinética de la partícula. Con frecuencia es conveniente escribir la ecuación 7.15 en la forma

$$W_{\text{neto}} = K_f - K_i = \Delta K \quad (7.17)$$

Figura 14: Deducción del teorema de trabajo y energía cinética utilizando notación integral. Imagen extraída de Serway y Jewett (2007, p. 174).

De la Figura 14, se puede inferir que los autores desarrollan la integral para un desplazamiento que ocurre sobre una trayectoria cualquiera (no se especifica). No

obstante, en el esquema que acompaña al texto principal, se sugiere que se trata de una trayectoria rectilínea. De manera similar en J, se consideran esquemas que acompañan al texto principal que también insinúan que el desplazamiento es rectilíneo, sin embargo éstos no se incluyen en la Figura 15.

6.2 Energía cinética y el teorema trabajo-energía

El trabajo total realizado por fuerzas externas sobre un cuerpo se relaciona con el desplazamiento de éste (los cambios en su posición), pero también está relacionado con los cambios en la *rapidez* del cuerpo. Para comprobarlo, considere la figura 6.8, que muestra tres ejemplos de un bloque que se desliza sobre una mesa sin fricción. Las fuerzas que actúan sobre el bloque son su peso \vec{w} , la fuerza normal \vec{n} y la fuerza \vec{F} ejercida por la mano.

En la figura 6.8a, la fuerza neta sobre el bloque es en la dirección de su movimiento. Por la segunda ley de Newton, ello significa que el bloque se acelera; la ecuación (6.1) nos indica también que el trabajo total W_{tot} efectuado sobre el bloque es positivo. El trabajo total es *negativo* en la figura 6.8b porque la fuerza neta se opone al desplazamiento; aquí el bloque se frena. La fuerza neta es cero en la figura 6.8c, así que la rapidez del bloque no cambia y el trabajo total efectuado sobre él es cero. Podemos concluir que, *si una partícula se desplaza, se acelera si $W_{\text{tot}} > 0$, se frena si $W_{\text{tot}} < 0$ y mantiene su rapidez si $W_{\text{tot}} = 0$.*

Hagamos más cuantitativas tales observaciones. Considere una partícula con masa m que se mueve en el eje x bajo la acción de una fuerza neta constante de magnitud F dirigida hacia el eje $+x$ (figura 6.9). La aceleración de la partícula es constante y está dada por la segunda ley de Newton, $F = ma_x$. Suponga que la rapidez cambia de v_1 a v_2 mientras la partícula sufre un desplazamiento $s = x_2 - x_1$ del punto x_1 al x_2 . Usando una ecuación de aceleración constante, ecuación (2.13), y sustituyendo v_{2x} por v_2 , v_{1x} por v_1 y $(x - x_0)$ por s , tenemos

$$v_2^2 = v_1^2 + 2a_x s$$

$$a_x = \frac{v_2^2 - v_1^2}{2s}$$

Al multiplicar esta ecuación por m y sustituir ma_x por la fuerza neta F , obtenemos

$$F = ma_x = m \frac{v_2^2 - v_1^2}{2s} \quad \text{y} \tag{6.4}$$

$$Fs = \frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2$$

El producto Fs es el trabajo efectuado por la fuerza neta F y, por lo tanto, es igual al trabajo total W_{tot} efectuado por todas las fuerzas que actúan sobre la partícula. Llamamos a la cantidad $\frac{1}{2}mv^2$ la **energía cinética** K de la partícula (definición de energía cinética):

$$K = \frac{1}{2}mv^2 \quad (\text{definición de energía cinética}) \tag{6.5}$$

Figura 15. Deducción del teorema de trabajo y energía cinética utilizando notación algebraica. Imagen extraída de Young y Freedman (2009, pp. 186-187)

7.1.2. Acerca de la consideración de los límites de validez del teorema

En varios ejemplares se establecen los alcances del teorema de trabajo y energía cinética. La tendencia observada es que se indica que es válido en marcos inerciales de referencia dado que se dedujo de las leyes de Newton y para partículas puntuales.

Por ejemplo, en A, los autores no indican específicamente que se trata de un teorema válido solamente en marcos inerciales de referencia (a pesar de haberlo derivado de la segunda ley de Newton). Tampoco realizan ninguna advertencia sobre el hecho de que no sea legítimo usarlo en situaciones que involucren objetos extensos. Sin embargo, como se ha mostrado en un capítulo previo de esta tesis, los autores al inicio del capítulo “Trabajo y Energía” establecen que todo lo que se va a desarrollar se circunscribe al caso de una partícula, con lo cual dan por sentado que el lector comprendió que el teorema de trabajo y energía cinética es válido únicamente para partículas. Luego, en la sección en que se estudia la energía cinética de un sistema de partículas, se generaliza este resultado estableciendo que: *“el cambio de energía cinética de un sistema de partículas es igual al trabajo efectuado sobre el sistema por las fuerzas exteriores e interiores”* (Alonso y Finn, 1976, p. 257). Como los autores no son explícitos y no insisten en establecer en qué condiciones es genuino el uso del teorema, se optó por incluir este ejemplar entre aquellos que no consideran el alcance y las limitaciones del mismo. Una decisión similar se ha tomado con respecto a G. En este, cuando se aborda el teorema también se lo hace suponiendo que la fuerza actúa sobre una partícula. Y, al igual que en A, el autor inicia el capítulo diciendo que el desarrollo de los temas del mismo se hará suponiendo que se trata de una partícula (definiéndose qué se entiende por tal). Esta cuestión, a la hora de abordar el teorema, no se vuelve a mencionar. Es tarea del lector inferir que este teorema se está aplicando a partículas a partir de la advertencia realizada por el autor al inicio del capítulo.

Por su parte en B, los autores afirman:

El teorema de la energía cinética en la ecuación (8.10) se ha obtenido para el caso especial de movimiento en una dimensión con aceleración constante. Sin embargo, este resultado tiene validez general en un sistema de referencia inercial, como se verá más adelante (Gettys *et al.*, 2005, p. 174).

En C también se encontró una alusión al respecto, además el autor indica que este teorema no es tan inclusivo como la ley de conservación de la energía:

El principio del trabajo y la energía puede aplicarse a una partícula, y también a un objeto que puede aproximarse como una partícula, como un objeto rígido cuyos movimientos internos no son considerables [...] El principio del trabajo y la energía no es tan poderoso ni tan incluyente como la ley de conservación de la energía que veremos en el siguiente capítulo y no debería considerarse como un enunciado de conservación de energía (Giancoli, 2009, p. 173).

En tres ejemplares (D, H, I) no se encontraron referencias a los alcances del teorema.

En F, si bien no se hace alusión a los marcos de referencia inerciales, se establece que este teorema no sólo es válido para una partícula, tal como oportunamente se lo ha derivado, sino que también se lo puede utilizar para sistemas siempre que se considere al trabajo neto como la suma de cada uno de los trabajos que se efectúan sobre el sistema. Así puede leerse:

La ecuación 7.17 se generó al suponer que se realiza trabajo en una partícula. También se podría hacer trabajo sobre un sistema deformable, en el que las partes del sistema se muevan unas respecto de otras. En este caso, también se encuentra que la ecuación 7.17 es válida en tanto el trabajo neto se encuentre al sumar los trabajos invertidos por cada fuerza y sumarlos, tal como se discutió anteriormente en relación con la ecuación 7.8. (Serway y Jewett, 2007, 175).

Además los autores recalcan que su validez no queda circunscripta al movimiento de traslación: “El teorema trabajo-energía cinética también es válido para sistemas que se someten a un cambio en la rapidez rotacional debido al trabajo realizado sobre el sistema” (Serway y Jewett, 2007, 175).

En J se señala que el teorema es válido en marcos inerciales de referencia, además, se reconoce el aspecto relativo tanto de la energía como del trabajo; cuestión ya considerada en un capítulo anterior de esta tesis.

Puesto que usamos las leyes de Newton para deducir el teorema trabajo-energía, sólo podemos usarlo en un marco de referencia inercial. Además, observe que el teorema es válido en cualquier marco inercial; sin embargo, los valores de W_{tot} y $K_2 - K_1$ podrían diferir de un marco inercial a otro (porque el desplazamiento y la rapidez de un cuerpo pueden ser diferentes en diferentes marcos).

Dedujimos el teorema trabajo-energía para el caso especial de movimiento rectilíneo con fuerzas constantes, y en los siguientes ejemplos sólo lo aplicaremos a ese caso especial. En la siguiente sección veremos que el teorema es válido en general, aun si las fuerzas no son constantes y la trayectoria de la partícula es curva (Young y Freedman, 2009, p.188).

En E, de manera similar a J, se establece que el teorema es válido en marcos de referencia inerciales al igual que la segunda ley de Newton. Paralelamente se presentan argumentos que ponen en evidencia el carácter relativo de la energía.

Como obtuvimos el teorema de trabajo-energía de esta ley, podríamos sospechar que igual que en ella, los observadores situados en distintos marcos de referencia inerciales coincidirán en los resultados de su aplicación. No obstante, a diferencia de las fuerzas y de las aceleraciones, en general los desplazamientos medidos por ellos serán distintos; por eso deducirán diversos valores del trabajo y de las energías cinéticas en el experimento.

Aun cuando los dos observadores obtengan diferentes valores numéricos en su respectivo marco de referencia, concordarán en que $W = \Delta K$. El teorema de trabajo y energía, es un ejemplo de una ley *invariante* de la física (Resnick *et al.*, 2011, p. 241).

En este mismo ejemplar, los autores son redundantes en señalar que el teorema de trabajo-energía solamente tiene validez para partículas. Así pueden leerse varios párrafos en que esto se evidencia:

Aunque el teorema lo obtuvimos para fuerzas constantes, en general se aplica también a fuerzas no constantes. Más adelante ofreceremos en esta sección una prueba más general. A semejanza de la segunda ley de Newton, que utilizamos al obtenerlo, el teorema se aplica sólo a las partículas o cuerpos que se comportan como ellas. Esta restricción se analiza más a fondo al final de la sección.

[...] El teorema de trabajo y energía *no* constituye una ley nueva e independiente de la mecánica clásica. Nos hemos limitado a *definir* el trabajo (Ec. 11-2, por ejemplo) y la energía cinética (Ec. 11-23), y simplemente *hemos obtenido* la relación entre ambos partiendo de la segunda ley de Newton. Es un teorema útil para resolver problemas en que el trabajo neto hecho en el cuerpo por las fuerzas externas se calcula fácilmente, y en que queremos calcular la rapidez del cuerpo en varias posiciones. Más importante aún, es como punto de partida para proponer una generalización global del concepto de energía, y de la manera en que ésta se almacena o se comparte entre las partes de un sistema. El principio de conservación de la energía es el tema de los dos siguientes capítulos (Resnick *et al.*, 2011, p. 240).

Este teorema (Ec. 11-24) lo obtuvimos directamente de la segunda ley de Newton, la cual en la forma en la que la hemos enunciado se aplica *sólo a partículas*. Por eso, el teorema, tal como lo hemos aplicado hasta ahora, se aplica de modo exclusivo a cuerpos que puedan considerarse partículas. Antes vimos que un objeto se comportaba como una partícula si todas sus partes se movían exactamente en la misma forma. Al utilizar el teorema, podemos tratar un objeto extendido como partícula, si la única forma de energía que posee es cinética (Resnick *et al.*, 2011, p. 242).

En la primera de las citas precedentes, puede observarse el énfasis de los autores en resaltar que el teorema en cuestión es una consecuencia de las leyes de Newton, además, se anticipa que constituye un punto de partida para establecer la ley de conservación de la energía. Luego, se continúa con la discusión de ejemplos que muestran que este teorema conduce a errores cuando se lo aplica fuera de su ámbito de validez. Los autores retoman esta cuestión, en el capítulo en el que se aborda la conservación de la energía, para mostrar que la aplicación de este teorema conduce a resultados contradictorios en situaciones donde el objeto no puede ser considerado una partícula. En este contexto, al discutir un problema que involucra una patinadora que gana energía cinética acelerándose a partir de ejercer una fuerza sobre un barandal, presentan el concepto de pseudo-trabajo y la energía del centro de masa, como una aplicación del teorema a un objeto extenso en el que se supone que la fuerza aplicada se ejerce en el centro de masa y el cuerpo entero se mueve a la velocidad de éste. Advierten explícitamente al lector que:

Las ecuaciones 13-14 y 13-15 se parecen al teorema de trabajo y energía de una partícula. No obstante, es importante señalar lo siguiente: aunque las magnitudes del lado izquierdo de las ecuaciones anteriores se asemejan al trabajo (y de hecho poseen la dimensión de trabajo), no lo son en el sentido que hemos definido aquí, porque dx_{CM} y s_{CM} no representan el desplazamiento del punto de aplicación de la fuerza externa.* [...] (Resnick *et al.*, 2011, p. 286).

En la nota al pie que aparece en la cita precedente, los autores remiten al lector al artículo de Arons (1989), que presenta una síntesis muy completa sobre trabajo y energía. Luego se aborda la reformulación de la conservación de la energía de manera que incluya al calor, presentándola como la primera ley de la termodinámica.

En J, en la sección titulada “Trabajo y energía en sistemas compuestos”, se analiza el caso de un niño con patines que se desplaza sobre una superficie horizontal sin fricción luego de empujar una pared.

En esta sección nos hemos cuidado de aplicar el teorema trabajo-energía sólo a cuerpos que podemos representar como *partículas*, esto es, como masas puntuales en movimiento. En los sistemas complejos que deben representarse en términos de muchas partículas con diferentes movimientos, surgen aspectos más sutiles que no podemos ver con detalle en este capítulo. Sólo veremos un ejemplo [...]

El asunto es que simplemente no es correcto representar al niño como una masa puntual. Para que el movimiento se dé como se describió, diferentes partes del cuerpo deben tener diferentes movimientos; las manos están estacionarias contra la pared y el torso se aleja de ésta. Las diversas partes del cuerpo interactúan y una puede ejercer fuerzas y realizar trabajo sobre otra. Por lo tanto, la energía cinética *total* de este sistema de partes corporales *compuesto* puede cambiar, aunque no realicen trabajo las fuerzas aplicadas por cuerpos (como la pared) externos al sistema. En el capítulo 8 veremos más a fondo el movimiento de un conjunto de partículas que interactúan. Descubriremos que, al igual que en el niño del ejemplo, la energía cinética total del sistema puede cambiar aun cuando el exterior no realice trabajo sobre alguna parte del sistema (Young y Freedman, 2009, p. 192).

7.1.3. Acerca de la explicitación del sistema sobre el que se aplica el teorema

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. Se

citan algunos enunciados de los problemas resueltos y parte de las soluciones que se presentan, para dar cuenta de esto.

Ejemplo 8.6. El resorte del ejemplo 8.3 está situado horizontalmente, como lo muestra la Fig. 8-10. Se mueve la masa m a la derecha una distancia a y entonces se la suelta. Calcular la energía cinética cuando se encuentra a una distancia x de la posición de equilibrio.

Solución: de acuerdo a nuestra explicación del ejemplo 8.3, el resorte ejercerá una fuerza $F=-kx$ sobre la masa m cuando esté a la distancia x de la posición de equilibrio. [...] En la posición de equilibrio, $x=0$ y por tanto $F=0$. En la posición (b), cuando la masa está por ser soltada, $x=a$, $F=-ka$ y la velocidad es cero ($v_0=0$), siendo por lo tanto nulo el valor inicial de la energía cinética. Sea v la velocidad en la posición intermedia x . Luego, utilizando la ec. (8.11), encontramos que

$$\frac{1}{2}mv^2 = \int_a^x Fdx = \int_a^x (-kx)dx = \frac{1}{2}k(a^2 - x^2)$$

o sea

$$v = \sqrt{\left(\frac{k}{m}\right)(a^2 - x^2)},$$

lo que nos da la velocidad de la partícula en términos de la posición (Alonso y Finn, 1976, p. 211).

Ejemplo 8.7. Una masa de 2 kg colgada de un hilo de 1 m de longitud, es desplazada en 30° de la vertical y entonces soltada. Hallar su velocidad cuando la cuerda forma un ángulo de 10° con la vertical tanto en el mismo lado como en el opuesto.

Solución: Una masa colgada de un hilo constituye un *péndulo*. Cuando el hilo es desplazado hasta hacer un ángulo θ_0 con la vertical (Fig. 8-13) y soltado luego, la velocidad inicial de la masa es cero. Bajo la acción de su peso mg y la tracción \mathbf{F}_N del hilo, describe un arco de círculo para llegar al punto A.

[...] Para obtener v usando el principio de la energía, ec. (8.11) deberíamos computar primero el trabajo de las fuerzas que actúan sobre la partícula. La fuerza centrípeta \mathbf{F}_N no efectúa ningún trabajo, porque en todo momento es perpendicular a la velocidad. El trabajo de la fuerza de gravedad mg puede ser computado con ayuda de la ec. (8.16); esto es, $W = mgy_0 - mgy = mg(y_0 - y)$ [...] Luego

$$y_0 - y = l(\cos\theta - \cos\theta_0)$$

$$W = mg(y_0 - y) = mgl(\cos\theta - \cos\theta_0).$$

La energía cinética en la posición C es $E_k = \frac{1}{2}mv^2$, y en B=0. Por tanto, usando

la ec. (8.13), obtenemos

$$\frac{1}{2}mv^2 = mgl(\cos\theta - \cos\theta_0)$$

O sea

$$v = \sqrt{2gl(\cos\theta - \cos\theta_0)}.$$

Notamos que el resultado es independiente de la masa [...] (Alonso y Finn, 1976, p. 213).

Tal como puede verse en los dos problemas precedentes, los autores no manifiestan cuál es el sistema bajo análisis. Se sobreentiende que el mismo consta de una única partícula. Cabe aclarar que la resolución que se plantea no está en conflicto con la suposición (implícita) de que el sistema es una 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. En la Figura 16, tomada de I, se exhibe una solución típica que se realiza sin especificar el sistema.

plantea manifiestamente que, de acuerdo a la resolución planteada, el sistema debe ser entendido como el bloque solamente con una fuerza externa (la del resorte) actuando sobre él.

Un resorte comprimido. Un resorte horizontal tiene una constante $k = 360 \text{ N/m}$.

a) ¿Cuánto trabajo se requiere para comprimirlo a partir de su longitud natural ($x = 0$) hasta $x = 11.0 \text{ cm}$? *b)* Si se coloca un bloque de 1.85 kg contra el resorte y éste se suelta, ¿cuál será la rapidez del bloque cuando éste se separe del resorte en $x = 0$? Desprecie la fricción. *c)* Resuelva el inciso *b)* suponiendo que el bloque se mueve sobre una mesa como en la figura 7-18 y que algún tipo de fuerza de arrastre constante $F_D = 7.0 \text{ N}$ actúa para desacelerarlo, como la fricción (o tal vez su dedo).

PLANTEAMIENTO Utilizamos nuestro resultado de la sección 7-3 de que el trabajo neto, W , necesario para estirar o comprimir un resorte una distancia x es

$$\frac{1}{2} kx^2$$

En *b)* y *c)* usamos el principio trabajo-energía.

SOLUCIÓN *a)* El trabajo requerido para comprimir el resorte una distancia $x = 0.110 \text{ m}$ es

$$W = \frac{1}{2} \left(360 \frac{\text{N}}{\text{m}} \right) (0.110 \text{ m})^2 = 2.18 \text{ J}$$

donde convertimos todas las unidades al SI.

b) Al regresar a su longitud no comprimida, el resorte efectúa 2.18 J de trabajo sobre el bloque [mismo cálculo que en el inciso *a)*, sólo que al revés]. De acuerdo con el principio del trabajo y la energía, el bloque adquiere energía cinética de 2.18

J. Como $K = \frac{1}{2} mv^2$, la rapidez del bloque debe ser [...] (Giancoli, 2009, p. 175).

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 cuyo enunciado y parte de la solución se citan a continuación, 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 el primero de ellos se trata de la masa m que se mueve bajo la acción de la fuerza gravitatoria que es externa al sistema. Así puede leerse:

Problema Resuelto 11-7.

Se suelta un cuerpo de masa $m = 4.5 \text{ g}$ del reposo, desde una altura $h = 10.5 \text{ m}$ sobre la superficie terrestre. Despreciando la resistencia del aire, ¿qué velocidad tendrá poco antes de caer al suelo.

Solución Supongamos que el cuerpo puede tratarse como partícula. Podríamos resolver el problema aplicando el método basado en las leyes de Newton que expusimos en el Capítulo 3, pero optamos por resolverlo por medio del teorema de trabajo-energía. La ganancia de energía cinética es igual al trabajo realizado por la fuerza resultante, que en este caso es la gravedad. [...] (Resnick *et al.*, 2011, p. 241).

En el problema que sigue se sobreentiende que el sistema está formado solamente por el bloque y, sobre él actúa la fuerza externa que realiza el resorte.

Problema resuelto 11-8. Un bloque de masa $m = 3.63 \text{ kg}$ resbala por una mesa horizontal sin fricción con una rapidez de $v = 1.22 \text{ m/s}$. Se detiene al comprimir un resorte que se encuentra en su trayectoria. ¿Cuánto se comprimirá el resorte si la constante de fuerza k es 135 N/m ?

Solución El cambio de la energía cinética del bloque es

$$\Delta K = K_1 - K_2 = 0 - \frac{1}{2}mv^2.$$

Según la ecuación 11-17, el trabajo W efectuado por el resorte en el bloque cuando aquel está comprimido de su longitud en posición relajada y a una distancia d es

$$W = \frac{1}{2}kd^2.$$

Al aplicar el teorema de trabajo-energía, $W=\Delta K$, obtenemos

$$-\frac{1}{2}kd^2 = -\frac{1}{2}mv^2$$

o

$$d = v\sqrt{\frac{m}{k}} = (1.22\text{ m/s})\sqrt{\frac{3.63\text{ kg}}{135\text{ N/m}}} = 0.200\text{ m} = 20\text{ cm} \quad (\text{Resnick et al., 2011,}$$

p. 241).

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 la figura 17, se exhibe un problema resuelto en el que claramente se observa cual es el sistema escogido por los autores. En este mismo ejemplar se han rastreado alusiones a los sistemas hasta en los cuadros e ilustraciones que acompañan al texto principal. La siguiente descripción aparece en el epígrafe de una figura: “El trabajo invertido por un agente externo en el sistema del libro y la Tierra a medida que el libro se levanta lentamente desde una altura y_i a una altura y_f es igual a $mgy_f - mgy_i$ ” (Serway y Jewett, 2007, p. 177).

EJEMPLO 7.6 **Un bloque que se jala sobre una superficie sin fricción**

Un bloque de 6.0 kg, inicialmente en reposo, se jala hacia la derecha, a lo largo de una superficie horizontal sin fricción, mediante una fuerza horizontal constante de 12 N. Encuentre la rapidez del bloque después de que se ha movido 3.0 m.

SOLUCIÓN

Conceptualizar La figura 7.13 ilustra esta situación. Suponga que jala un carro de juguete a través de una mesa con una banda elástica horizontal unida al frente del carro. La fuerza se mantiene constante al asegurar que la banda elástica estirada siempre tiene la misma longitud.

Categorizar Se podrían aplicar las ecuaciones de cinemática para determinar la respuesta, pero practique la aproximación de energía. El bloque es el sistema y tres fuerzas externas actúan en el sistema. La fuerza normal equilibra la fuerza gravitacional en el bloque y ninguna de estas fuerzas que actúan verticalmente realiza trabajo sobre el bloque porque sus puntos de aplicación se desplazan horizontalmente.

Analizar La fuerza externa neta que actúa sobre el bloque es la fuerza horizontal de 12 N.

Hallar el trabajo invertido por esta fuerza en el bloque:

$$W = F \Delta x = (12\text{ N})(3.0\text{ m}) = 36\text{ J}$$

Use el teorema trabajo-energía para el bloque y note que su energía cinética inicial es cero:

$$W = K_f - K_i = \frac{1}{2}mv_f^2 - 0$$

Resuelva para v_f :

$$v_f = \sqrt{\frac{2W}{m}} = \sqrt{\frac{2(36\text{ J})}{6.0\text{ kg}}} = 3.5\text{ m/s}$$

Finalizar Le sería útil resolver este problema de nuevo, al representar el bloque como una partícula bajo una fuerza neta para encontrar su aceleración y luego como una partícula bajo aceleración constante para encontrar su velocidad final.

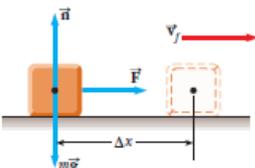


Figura 7.13 (Ejemplo 7.6) Bloque que se jala hacia la derecha sobre una superficie sin fricción mediante una fuerza horizontal constante.

Figura 17. Identificación del sistema bajo análisis en un problema resuelto tomado de Serway y Jewett (2007, p. 176)

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. Así, pudo encontrarse un ejemplo que ilustra las relaciones entre trabajo, energía cinética y energía potencial para un esquiador que es transportado por un telesquí hasta la cima de una montaña nevada. Estas relaciones se determinan a partir del teorema de trabajo y energía cinética sin hacer alusión todavía a la conservación de la energía mecánica, que es el objeto del siguiente capítulo en dicho ejemplar.

Consideremos ahora el esquiador y la Tierra como un *sistema de dos partículas*. (El telesquí no forma parte del sistema). Cuando el telesquí conduce al esquiador a lo alto de la pista realiza el trabajo mgh sobre el sistema esquiador-Tierra. Este trabajo es almacenado en forma de energía potencial del sistema. Cuando el esquiador desciende por la pista, esta energía potencial se convierte en energía cinética del movimiento (Tipler, 1993, p. 156).

Otro ejemplo se exhibe en la Figura 18, que muestra tanto la descripción verbal presentada en este ejemplar como la imagen en que ésta se apoya. En dicha figura, puede observarse que claramente se identifica el sistema y además se consideran diferentes elecciones posibles. En el párrafo mostrado en la Figura 18, extraído de la parte principal del texto, puede notarse que el autor (o tal vez los traductores) confunden fuerza con trabajo, dado que afirma que el atleta que levanta la barra ejerce sobre ésta una fuerza $+mgh$. Sin embargo, en la imagen que acompaña esta explicación está correctamente identificada la fuerza que ejerce el atleta: $+mg$. Esto pone 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; Hubisz, 2003; Quílez, 2009; Slisko, 2000, 2003, 2005). Restaría analizar las ediciones más actuales del libro para ver si el error persiste o fue corregido.

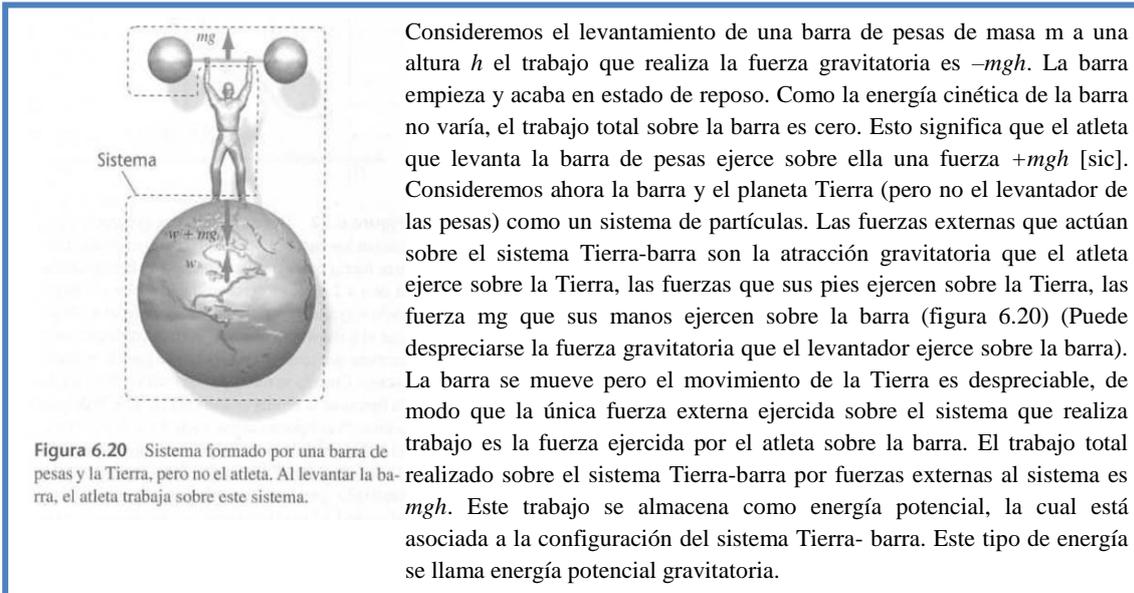


Figura 18. Identificación de diferentes sistemas para la discusión de relaciones entre trabajo y energía según se presenta en Tipler (1993, p. 155).

En J, la situación es similar a la detectada en A. Los autores no afirman explícitamente cuál es el sistema considerado, esto debe ser inferido por el lector en base a la manera en que se encara la solución de los problemas. Por lo general, se trata de un solo objeto que implícitamente es considerado como partícula. A continuación se cita un problema en el que el lector debe inferir que el sistema es el martillo, basado en la identificación de las fuerzas externas que sobre él actúan según lo indicado por los autores en la resolución propuesta. Así puede leerse:

Ejemplo 6.4 Fuerzas sobre un martillo

En un martinete, un martillo de acero con masa de 200 kg se levanta 3.00 m sobre el tope de una viga en forma de I vertical, que se está clavando en el suelo (figura 6.12a). El martillo se suelta, metiendo la viga-I otros 7.4 cm en el suelo. Los rieles verticales que guían el martillo ejercen una fuerza de fricción constante de 60 N sobre éste. Use el teorema trabajo-energía para determinar *a*) la rapidez del martillo justo antes de golpear la viga-I y *b*) la fuerza media que el martillo ejerce sobre la viga-I. Ignore los efectos del aire.

[...] Usaremos el teorema trabajo-energía para relacionar la rapidez del martillo en distintos lugares con las fuerzas que actúan sobre él. Aquí nos interesan *tres* posiciones: el punto 1, donde el martillo parte del reposo; el punto 2, donde hace contacto primero con la viga-I; y el punto 3, donde el martillo se detiene (véase la figura 6.12a).

Las dos incógnitas son la rapidez del martillo en el punto 2 y la fuerza que el martillo ejerce entre los puntos 2 y 3. Entonces, aplicaremos el teorema trabajo-energía dos veces: una al movimiento del punto 1 al 2, y otra al movimiento de 2 a 3. [...] (Young y Freedman, 2009, p. 190).

En la resolución los autores utilizan dos veces el teorema de trabajo y energía cinética. En ambas aplicaciones del teorema el trabajo neto es entendido como el trabajo realizado por la fuerza neta o resultante. Se optó por incluir este ejemplar entre aquellos que no identifican el sistema bajo estudio, porque, al igual que ocurre en A, se da por sentado que el lector comprende que el mismo está constituido por un objeto que puede ser considerado una partícula.

7.2 Acerca de la conceptualización de las fuerzas conservativas y no conservativas

Los resultados que permiten caracterizar esta variable se resumen en la Tabla VII

Sub categorías			Libros de texto										
			A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	Tot
V6.1. Presentación de definición y formas de presentación	V6.1.1. Se presenta	V6.1.1.1. Independencia de trabajo y trayectoria	x	x	x		x	x	x		x	x	8
		V6.1.1.2. Trabajo igual al opuesto de la variación de Energía Potencial	x	x			x		x			x	5
		V6.1.1.3. El trabajo realizado en una trayectoria cerrada es nulo	x	x			x	x	x			x	6
		V6.1.1.4. El trabajo es reversible			x							x	2
		V6.1.1.4. Se explicita la equivalencia entre dos o más de estas definiciones	x	x	x		x	x	x				6
	V6.1.2. No se presenta				x					x			2
V6.2. Presentación de ejemplos típicos	V6.2.1 Ejemplos de fuerzas conservativas:	V6.2.1.1. Fuerza gravitatoria	x	x	x		x	x				x	6
		V6.2.1.2. Fuerza electrostática					x					x	2
		V6.2.1.3. Fuerza de restauración de un resorte		x	x		x	x	x		x	x	7
		V6.2.1.4. Fuerza de flotación											
		V6.2.1.5. Otras fuerzas	x										1
	V6.2.2 Ejemplos de fuerzas no conservativas	V6.2.2.1. Fuerza de rozamiento	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	10
		V6.2.1.2. Fuerza de resistencia en fluidos	x									x	2
		V6.2.1.3. Fuerza normal											
		V6.2.1.4. Otras fuerzas			x				x			x	3
	V6.2.3 No se presenta ejemplos												

Tabla VII: Síntesis de resultados. Variable V6: Conceptualización de las fuerzas conservativas.

7.1.1. Acerca de la definición de fuerza conservativa

En ocho de los ejemplares inspeccionados (A, B, C, E, F, G, I, J) se aborda el tema fuerzas conservativas. Las dos definiciones de fuerza conservativa más asiduamente encontradas en la muestra inspeccionada son, por un lado, la que identifica a las fuerzas conservativas con aquellas cuyo trabajo es independiente de la trayectoria y por el otro, la que establece que una fuerza es conservativa si el trabajo realizado por ella en una trayectoria cerrada es nulo. En este sentido, en estos ejemplares pueden encontrarse afirmaciones como las que se citan a continuación y en las que se las contempla según la primera vía: “*El trabajo efectuado por fuerzas conservativas es independiente de la*

trayectoria” (Alonso y Finn, 1976, p. 214); “*El trabajo realizado por una fuerza conservativa es independiente de la trayectoria que conecta el punto inicial con el punto final*” (Gettys *et al.*, 2005, p.196); “Decimos que una fuerza es conservativa si el trabajo efectuado por ella para mover un objeto es independiente de la trayectoria del objeto” (Wilson *et al.*, 2007, p. 157);

Por definición, llamamos a una fuerza conservativa si

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

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

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

Considere el trabajo total efectuado por una fuerza que opera sobre una partícula a medida que esta se mueve alrededor de una trayectoria cerrada y retoma a su punto de partida. Si es cero, la llamaremos fuerza conservativa. Si la fuerza total del viaje

redondo no es cero, la llamaremos fuerza no conservativa (Resnick *et al.*, 2011, p. 258).

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

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

Las **fuerzas conservativas** tienen estas dos propiedades equivalentes:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$$W_{el} = \frac{1}{2} kx_1^2 - \frac{1}{2} kx_2^2 = U_{el,1} - U_{el,2} = -\Delta U_{el} \quad (7.10)” \text{ (Young y Freedman, 2009, p. 223).}$$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

A continuación se muestran fragmentos extraídos de diferentes libros para ilustrar esta tendencia. Así en J, puede leerse: “Hemos visto dos ejemplos de fuerzas conservativas: la gravitacional y la de resorte. (Más adelante en este libro estudiaremos otra fuerza conservativa, la fuerza eléctrica entre los objetos cargados.)” (Young y Freedman, 2009, p. 228).

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

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

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

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

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

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

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

No todas las fuerzas son conservativas. Supongamos que se empuja desde un punto A hasta un punto B una caja situada encima de una mesa y luego se vuelve de A a B, de forma que la caja acaba en el mismo sitio de donde ha salido. El rozamiento se opone al movimiento, por lo que la fuerza que se ejerce al empujar la caja, que

siempre va en la dirección del movimiento, realiza un trabajo positivo en los dos tramos del trayecto. Por lo tanto, el trabajo final que ha hecho el empuje no es cero y nos encontramos ante un ejemplo de **fuerza no conservativa** para la cual no podemos definir una función de energía potencial. Algunas veces se puede demostrar que una fuerza determinada no es conservativa calculando el trabajo realizado por la fuerza alrededor de alguna curva cerrada y mostrando que éste no es cero. Consideremos la fuerza $\mathbf{F}=F_0\phi$, donde ϕ es un vector unitario dirigido según la tangente a un círculo de radio r . El trabajo realizado por esta fuerza cuando nos movemos alrededor del círculo de radio r es $+F_02\pi r$ si lo hacemos en la dirección de la fuerza (y $-F_02\pi r$ si lo hacemos en la dirección opuesta a la fuerza). Como este trabajo no es cero, concluimos que la fuerza no es conservativa. Sin embargo, este método para saber si una fuerza es conservativa o no, es limitado ya que si el trabajo realizado alrededor de un camino determinado no es cero, podemos concluir que esta fuerza no es conservativa pero, en cambio, para que la fuerza sea conservativa el trabajo debe ser cero en *todas* las trayectorias cerradas posibles. Como hay infinitas trayectorias cerradas, es imposible calcular el trabajo realizado en cada una. En cursos de física más avanzados se exponen métodos matemáticos más sofisticados para probar el carácter conservativo o no de las fuerzas (Tipler, 19993, p. 159).

En J se presentan los siguientes ejemplos de fuerzas no conservativas:

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

CAPÍTULO 8: CONSERVACIÓN DE LA ENERGÍA

Para la caracterización de la conservación de la energía se han tomado en cuenta las sub-variables (no excluyentes) que se exponen en la Tabla VIII.

Sub dimensiones		Libros de texto										Tot
		A	B	C	D	E	f	G	H	I	J	
V7.1. Presentación de la conservación de la energía	V7.1.1. Como un enunciado general		x				x	x				3
	V7.1.2. Como una generalización del teorema de trabajo y energía cinética	x	x	x	x	x		x	x	x	x	9
V7.2. Forma en que se enuncia la conservación de la energía	V7.2.1. De manera positiva	x	x	x		x	x	x	x	x	x	9
	V7.2.2. De manera negativa				x			x		x	x	4
V7.3. Significado que se atribuye a la conservación de la energía	V7.3.1. Cómo una propiedad invariante del sistema		x	x		x			x	x		5
	V7.3.2. Como una propiedad invariante del sistema y del entorno	x			x		x	x		x	x	6
V7.4. Explicitación del sistema sobre el que se aplica la conservación de la energía	V7.4.1. Se explicita			x		x	x	x		x	x	6
	V7.4.2. No se explicita	x	x		x				x			4
V7.5. Otras cuestiones			x	x		x	x	x	x		x	7

Tabla VIII: Síntesis de resultados. Variable V7: Conservación de la energía

8.1. Acerca de la presentación de la conservación de la energía

La presentación seguida en un solo ejemplar (F) difiere de las demás, en éste 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, es decir, de los casos particulares llegar a la generalización que supone la conservación de la energía. En estos libros 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 con la expresión que vincula

el trabajo de fuerzas conservativas con el opuesto de la variación de la energía potencial. Luego, en algunos se amplía dicha enunciación para incluir el trabajo de las fuerzas no conservativas y los sistemas no aislados. Se citan algunos fragmentos que se estimaron representativos.

En A, cómo ya se mencionó en el Capítulo 6 de esta tesis, 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 y podría llevarse la falsa idea de que la energía potencial es una magnitud que tiene sentido para una única partícula. Se afirma: “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).

En el capítulo siguiente, los autores amplían esta noción para un sistema de partículas. Nuevamente suponen que las fuerzas internas son conservativas, demuestran que la energía propia de un sistema, entendida tal como se la describió en el Capítulo 6 de esta tesis, permanece constante para un sistema aislado. Parafraseando a los autores: “*el cambio en la energía propia de un sistema de partículas es igual al trabajo efectuado sobre el sistema por las fuerzas externas*” [...] o “*la energía propia de un sistema aislado de partículas permanece constante*” (Alonso y Finn, 1976, p. 258).

Luego, en el mismo ejemplar, se considera el caso de sistemas constituidos por un “gran” número de partículas. En estas circunstancias, los autores plantean:

...deberíamos expresar el *trabajo total externo* 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 $U-U_o=Q+W_{ext}$, explicitando que se trata de la ley de conservación de la energía aplicada a un sistema de un gran número de partículas.

En tanto que en B, luego de definir qué se entiende por sistemas conservativos, se establece la ley de conservación de la energía mecánica para sistemas conservativos. Así puede leerse:

En todo sistema conservativo existe una relación sencilla entre el trabajo realizado por las fuerzas conservativas y la conservación de la energía. Como ilustración de esta relación, considere una pelota moviéndose en caída libre verticalmente hacia arriba o hacia abajo. Se desprecian los efectos de la resistencia del aire, por tanto sólo la fuerza de la gravedad (que es conservativa) realiza trabajo sobre la pelota: de acuerdo con la ecuación (8.9), $W_{total} = -mg(y_f - y_i)$ con base en el teorema de la energía cinética, $K_f - K_i = W_{total}$, este trabajo es igual al cambio de la energía cinética de la pelota. Por tanto, se obtiene

$$\frac{1}{2}mv_f^2 - \frac{1}{2}mv_i^2 = -mg(y_f - y_i)$$

Los subíndices i , de inicial y f , de final, se refieren a dos puntos cualesquiera del movimiento. Al situar todo lo que corresponde al punto final a un lado de la igualdad, y lo que corresponde al punto inicial al otro se obtiene:

$$\frac{1}{2}mv_f^2 + mgy_f = \frac{1}{2}mv_i^2 + mgy_i \quad (9.1)$$

Esta igualdad expresa la conservación, o permanencia, de la cantidad $\frac{1}{2}mv^2 + mgy$. El valor de esta cantidad en el tiempo t_f es igual a su valor en cualquier otro tiempo t_i . [...] cada una de estas energías puede cambiar durante el

movimiento de la pelota, sin embargo, su suma, $\frac{1}{2}mv^2 + mgy$, permanece constante durante todo el movimiento.

La suma de la energía cinética K y de la energía potencial U se denomina energía mecánica E

$$E=K+U \text{ (Gettys } et al., 2005, p. 189).$$

En este fragmento, además de establecerse la conservación de la energía a partir del teorema de trabajo y energía cinética, se observa la insistencia de los autores en interpretar a la conservación en el sentido de algo que no cambia. En este libro, se observó, que además de obtener la conservación de la energía mecánica a partir del teorema de trabajo y energía cinética, se presenta una sección titulada “Ley de conservación de la energía”. En dicho apartado, los autores siguen el procedimiento de conteo propuesto por Feynman *et al.* (1987), es decir, 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.

Esto se refleja en el siguiente fragmento:

Si la energía mecánica de un sistema no se conserva, porque actúan fuerzas no conservativas que realizan trabajo, se tiende a encontrar la causa. Por ejemplo, si la energía mecánica aumenta, se busca el origen de ese aumento, y si disminuye, se busca esta energía en otra forma o en otro lugar (Gettys *et al.*, 2005, p. 201).

Además, dicha cita corrobora una inferencia que se describe en una sección posterior de esta tesis, y que versa sobre la preocupación por parte de los autores por dejar en claro que solamente si las fuerzas no conservativas realizan trabajo, la energía mecánica cambia.

Por otra parte, además de presentar a la conservación de la energía mecánica como una generalización del teorema de trabajo y energía cinética, en este ejemplar se

aborda luego la conservación de la energía enfatizando su rol como una ley física, tal como se ha indicado en el Capítulo 5 de esta tesis. Puede leerse:

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 C, también se obtiene la energía mecánica a partir del teorema de trabajo y energía cinética. Si bien en el fragmento que se cita a continuación no se enfatiza que la

misma se conserva aun cuando estén presentes fuerzas no conservativas que no realicen trabajo, esta cuestión está presente en el tratamiento que el autor da al tema y una cita que así lo expone se recupera unas líneas más adelante en este mismo capítulo de la tesis. La conservación de la energía se presenta así:

De acuerdo con el principio trabajo-energía (ecuación 7-11), el trabajo neto W_{net} efectuado sobre un objeto es igual a su cambio en energía cinética:

$$W_{net} = \Delta K$$

(Si más de un objeto de nuestro sistema tiene trabajo hecho sobre sí, entonces W_{net} y ΔK pueden representar la suma para todos los objetos.) Como suponemos un sistema conservativo, podemos escribir el trabajo neto realizado sobre un(os) objeto(s) en términos del cambio en la energía potencial total (ecuación 8-4) entre los puntos 1 y 2:

$$\Delta U_{total} = -\int_1^2 \vec{F}_{net} \cdot d\vec{l} = -W_{net} \quad (8-8)$$

Combinamos las dos ecuaciones previas, haciendo U igual a la energía potencial total:

$$\Delta K + \Delta U = 0 \text{ [sólo fuerzas conservativas]} \quad (8-9a) \text{ (Giancoli, 2009, p. 189).}$$

Es de resaltar que en este ejemplar se especifica que el resultado es válido también para sistemas de más de una partícula, en tanto el trabajo neto sea interpretado como la suma de los trabajos netos sobre cada partícula y la energía cinética sea la suma de las energías cinéticas individuales.

En D la conservación de la energía no se formula matemáticamente. El autor recupera un ejemplo que había analizado previamente, señalando que cuando un martinete está en funcionamiento, el trabajo realizado sobre el pilón se almacena como energía potencial, que luego, cuando el pilón se suelta, se transforma en energía cinética (recordemos que en este ejemplar no se aborda el tema fuerzas conservativas, con lo

cual la formulación de la conservación de la energía es diferente que en la mayoría de los demás textos inspeccionados). Simplemente 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). Luego se ofrece una enunciación de la misma en forma negativa, que se cita en la siguiente sección de este capítulo. En este ejemplar no se deriva explícitamente la conservación de la energía del teorema de trabajo y energía cinética, aunque el mismo subyace a las justificaciones que ofrece el autor.

Una situación análoga se observó en H. En este ejemplar tampoco se aborda el tema fuerzas conservativas por lo que combinar el trabajo neto del teorema de trabajo y energía cinética con el opuesto de la variación de la energía potencial para fuerzas conservativas está fuera de alcance. La situación es similar a la detectada en D:

Supongamos que se levanta una masa m hasta una altura h y luego se la deja caer (véase la figura 8.7). Una fuerza externa ha incrementado la energía del sistema, dándole una energía potencial $U = mgh$ en el punto más alto. Esta es la energía total disponible para el sistema y no puede modificarse a menos que se enfrente a una fuerza de resistencia externa. En la medida en que la masa cae, su energía potencial disminuye debido a que se reduce la altura sobre el piso. La pérdida de energía potencial reaparece en forma de energía cinética de movimiento. En ausencia de la resistencia del aire, la energía total ($U + K$) permanece igual (Tippens, 2007, pp. 166-167).

Por otro lado en F, en la introducción del capítulo “Conservación de la energía”, se distinguen sistemas aislados y no aislados. También se plantea la conservación de la energía mecánica como caso particular de la conservación de la energía en el caso donde en el sistema no haya fuerzas internas no conservativas realizando trabajo. 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.

En los sistemas aislados la energía no cruza la frontera del sistema. Para dichos sistemas, la energía total del sistema es constante. Si dentro del sistema no actúan fuerzas no conservativas, se aplica la *conservación de energía mecánica* para resolver varios problemas (Serway y Jewett, 2007, p. 195).

Luego se presentan diferentes mecanismos por los que la energía puede cruzar la frontera de un sistema. Se plantea que hasta 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:

$$\Delta E_{\text{sistema}} = \sum T \quad (8.1) \text{ (Serway y Jewett, 2007, p. 197).}$$

Luego los autores proponen trabajar con una versión ampliada de la ecuación y detallan los significados de cada uno de los términos que en dicha ecuación aparecen. La ecuación ampliada es: $\Delta K + \Delta U + \Delta E_{\text{int}} = W + Q + T_{MT} + T_{MW} + T_{ER} + T_{ET}$. Donde el primer miembro de la ecuación muestra tres formas de almacenar energía en el sistema: energía cinética K , energía potencial U , y energía interna E_{int} . Los significados de los términos que aparecen en el segundo miembro son: W es el trabajo realizado sobre el sistema por fuerzas externas, Q es energía transferida por calor, T_{MT} es energía transferida por transferencia de materia, T_{MW} es energía transferida por ondas mecánicas, T_{ER} es la energía transferida por radiación electromagnética y T_{ET} es la energía transferida a través de la frontera de un sistema por transmisión eléctrica desde una batería u otra fuente de energía eléctrica.

En este ejemplar se muestra entonces que la conservación de la energía mecánica y el teorema de trabajo energía cinética son casos especiales de la ecuación precedente.

Por otra parte, en G, el autor es redundante en afirmar que la conservación de la energía mecánica se deriva de las leyes de Newton. Además, se puede observar una tendencia a operacionalizar la conservación de la energía al resaltar su potencialidad para resolver problemas; es decir, la conservación de la energía asume el papel de técnica adicional para la resolución de problemas cerrados. Los siguientes fragmentos así lo reflejan:

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 en el primero que un principio; y en el segundo una ley, se deducen de otros principios físicos, una situación similar fue reportada para los libros de texto españoles de ESO por Solbes y Tarín (1998, 2004).

Por otro lado, en este mismo ejemplar, cuando se establece la ecuación que expresa la conservación de la energía mecánica de manera simbólica, se pudo detectar que el autor comete un error por omitir decir que se trata de un sistema aislado. En dicho libro, 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 19.

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_{c_i} 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 $\Delta E_{c_{sist}}$

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

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_{c_i} y la energía potencial U_{sist} de un sistema se denomina **energía mecánica total**, E_{mec} :

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

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.

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

CONSERVACIÓN DE LA ENERGÍA MECÁNICA

Figura 19: Deducción de la conservación de la energía a partir del teorema de trabajo y energía cinética, tal como se desarrolla en Tipler (1993, pp. 172-173). Se desliza un error por no afirmar explícitamente que se trata de un sistema aislado, esto es, $W_{ext} = 0$.

Obsérvese en la Figura 19 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. Es decir, si es aislado, se verifica que $W_{ext} = 0$ y si las fuerzas internas no conservativas no realizan trabajo, se cumple que $W_{nc} = 0$, en consecuencia $\Delta E_{mec} = 0$ y la energía mecánica se conserva. Pero si se omite decir que el sistema es aislado la variación de la energía mecánica será igual al trabajo de las fuerzas externas. Este desarrollo permite ilustrar como los sistemas lingüístico y simbólico presentes en los libros de texto, en ocasiones no se articulan coherentemente y llevan a resultados equívocos e incluso contradictorios.

Luego se analiza el caso en que las 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, a partir de la consideración de situaciones con fuerzas no conservativas cuyo trabajo no puede ignorarse, se obtiene una expresión general para la conservación de la energía de un sistema. En palabras del autor:

...el aumento o disminución de la energía total de un sistema puede siempre explicarse por el aumento o disminución de la energía en algún otro lugar. 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

$$E_{sistema} = E_{mec} + E_{térm} + E_{quím} + E_{otras} \quad (7.9) \text{ (Tipler, 1993, pp.178-179).}$$

Por su parte, en E, los autores obtienen, en primer lugar, la conservación de la energía mecánica. Comienzan por definir que un sistema es aislado si en él no actúan fuerzas externas o si éstas están presentes pero no realizan trabajo. Luego, plantean que en las partículas actúan fuerzas internas realizando trabajo y que se supondrá que éstas son conservativas de modo que sea posible asociarles una energía potencial. Obtienen la conservación de la energía como una extensión del teorema de trabajo y energía cinética. Bajo el título “Aplicaciones de la conservación de la energía mecánica” se establece explícitamente que la misma se desprende del teorema de trabajo y energía cinética y de la definición de energía potencial. Así puede leerse: “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 *et al.*, 2011, p. 263). Luego, en este mismo ejemplar, se aborda la conservación de la energía para sistemas no aislados y/o sistemas en que las fuerzas internas no conservativas efectúan trabajo. 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. En primer lugar se expone la ecuación $\Delta K + \Delta U + \Delta E_{int} = W_{ext}$, y luego se la amplía para las situaciones en que el sistema intercambia energía con el entorno a través de calor, en dicho caso la ecuación se

reescribe como $\Delta K + \Delta U + \Delta E_{\text{int}} = W_{\text{ext}} + Q$ o, de manera abreviada, como $\Delta E_{\text{total}} = W_{\text{ext}} + Q$, presentándola como la primera ley de la termodinámica.

En I, se establece la conservación de la energía para sistemas aislados a partir de reescribir el trabajo neto como la suma de los trabajos conservativos y no conservativos, combinar estos resultados con el teorema de trabajo y energía cinética y el trabajo conservativo expresarlo como el opuesto de la variación de la energía potencial. Con lo cual se obtiene que el trabajo no conservativo es igual a la variación de la energía mecánica del sistema. Así puede leerse: “el trabajo efectuado por las fuerzas no conservativas que actúan sobre un sistema es igual al cambio de energía mecánica” (Wilson *et al.*, 2007, p. 162). Y a semejanza de lo detectado en otros libros, en la 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 de manera de incluir cada vez más situaciones. Los autores son redundantes en informar al lector en que procederán de este modo. Una de las ocasiones en que hacen esto explícito es cuando afirman: “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” (Young y Freedman, 2009, p. 223). Posteriormente se considera el análisis de los sistemas aislados en los que hay fuerzas no conservativas, internas, que realizan trabajo y vinculan este trabajo con la variación de energía interna del sistema. En estas circunstancias escriben la ecuación de la conservación de la energía en términos de las variaciones de energía cinética, potencial e interna. Es decir: $\Delta E_K + \Delta E_p + \Delta E_{\text{int}} = 0$.

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

Tal como se mencionó en la revisión de la literatura, Solomon (1985) argumentó que la formulación negativa del principio de conservación de la energía fomentaría concepciones erróneas en los estudiantes y resulta poco útil en el diseño de experimentos. Similares características reviste la formulación negativa de la conservación de la masa (Gellon *et al.*, 2005). Solomon (1985, p. 169), usó una reformulación positiva para la conservación de la energía: "La energía nunca se crea y nunca se destruye; hay la misma cantidad de energía al final como al principio"². Afirma que esto provee, instrucciones explícitas sobre cómo usar el principio numéricamente, pero no resuelve todos los problemas conceptuales.

En algunos ejemplares (D, G, J) se encontraron frases que contemplan a la conservación de la energía de manera negativa. Por ejemplo: "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, en diferentes secciones del libro, que dan cuenta de ambas enunciaciones. Por ejemplo, una de ellas es:

... 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:

² Traducción de la autora de esta tesis

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, la aplicación de la conservación de la energía para el análisis y resolución de problemas, revela que la postura de los autores está más próxima a establecer que la cantidad de energía que hay al principio de un proceso es igual a la que hay después del mismo.

En un ejemplar (I) se conjugan simultáneamente la enunciación positiva como la negativa, de manera similar a lo detectado en otros dos (G, J). 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 palabras de los autores: “Dentro de un sistema así, la energía podría convertirse de una forma a otra, pero la cantidad total de todas las formas de energía es constante: no cambia. La energía total nunca puede crearse ni destruirse” (Wilson *et al.*, 2007, p. 156).

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. Se indica:

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 sistemas. 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:

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

$$K_f + U_f = K_i + U_i \quad (8.10) \quad (\text{Serway y Jewett, 2007, p. 199}).$$

En esta cita también se observa que se puede llegar a pensar que para que la energía mecánica se conserve no deben estar presentes las fuerzas no conservativas, en realidad éstas pueden estar pero no efectúan trabajo. Este aspecto se retoma unas páginas más adelante en este mismo capítulo de la tesis.

8.3. Acerca del significado que se atribuye a la conservación

En líneas generales, se detectó que la tendencia es interpretar a la energía como una constante del movimiento, como una cantidad que no cambia con el tiempo. Esto coincide con lo señalado por Bauman (1992b).

En B puede leerse:

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).

Luego, se analiza el caso de un objeto en caída libre y se indica: “En el ejemplo anterior la energía mecánica no cambia durante el movimiento, la energía mecánica se conserva” (Gettys *et al.*, 2005, p. 189). Que vuelve a estar en consonancia con interpretar a la conservación como algo que no cambia. En C el autor es redundante en tratar de consolidar el sentido de la energía como una propiedad del sistema que no cambia. Así lo revelan los siguientes fragmentos:

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).

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).

En tanto que en H se plantea: “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). Este párrafo no sólo enfatiza el sentido de la energía como un invariante del sistema, sino que la declaración realizada se asemeja a algunas que están presentes en otros libros, específicamente, por suponer que la presencia de fuerzas no conservativas (resistencia del aire o fuerzas disipadoras en palabras del autor) implica irremediablemente la no conservación de la energía. En este mismo ejemplar, unas páginas más adelante, cuando se aborda la conservación de la energía en situaciones donde el trabajo de la fuerza de fricción no puede ser despreciado, se ofrece una enunciación algo distinta, en la que se omite decir que el sistema debe ser aislado para que la afirmación sea legítima. Parafraseando al autor: “Conservación de la energía: 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 tanto que en J, el significado otorgado a la conservación está en esta misma línea. En dicho ejemplar se afirma:

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). Éste 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 tanto que 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. Planteo similar al que se realiza en A. Esta cuestión se retoma en un apartado posterior de este mismo capítulo. En la sección que desarrolla 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 el segundo de los sentidos señalados.

En cinco ejemplares (D, E, F, G, H), además, se encontró que se emplea el término conservación en el segundo de los sentidos señalados por Bauman (1992b), tal como lo muestran los siguientes fragmentos: “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 importancia del concepto de energía surge del principio de conservación de la energía: 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); “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, 2007, 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. Por un lado, se asume que es invariante en un sistema aislado y por el otro que sucede lo mismo para un sistema considerado conjuntamente con su entorno:

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).

Es de hacer notar que desde el ámbito académico tampoco hay acuerdo sobre esta cuestión. Mientras que algunos, Bauman (1992b) por ejemplo, defienden esta enunciación, otros como Coelho (2009) la cuestionan. Este último indica que frases de este tipo podrían conducir fácilmente 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 lo planteado por Coelho podría señalarse que afirmaciones de este tenor se contraponen a la noción de energía como una magnitud abstracta a la que adhieren un gran número de científicos y especialistas del área.

6.4. Acerca de la identificación de los sistemas al aplicar la conservación de la energía

Como ya se ha señalado en capítulos anteriores, la elección de los sistemas es crucial en la comprensión de problemas donde ocurren intercambios energéticos.

En las secciones de los textos donde 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, tal como se mostró en los capítulos anteriores de esta tesis. En casi todos los ejemplares se encontraron referencias a los sistemas.

En C, en la presentación que se realiza acerca de la conservación de la energía mecánica se aclara nuevamente cuáles son los sistemas subyacentes en la discusión: “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).

Por otro lado y tal como se mencionó en el capítulo 6 de esta tesis, en B se encontraron solamente dos particularizaciones de los sistemas involucrados, lo usual en este texto 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 del término se ha encontrado en una sola ocasión: se identifica el sistema en un enunciado de un problema cuya solución se ofrece a modo de ejemplo de aplicación de los conceptos previamente desarrollados.

Una piedra de 2 kg de masa se lanza verticalmente hacia arriba con una velocidad inicial de magnitud $v_i=8.0$ m/s, como se muestra en la figura 9.3. Se desprecia la fricción del aire, por lo que el sistema está formado por la piedra y la gravitación terrestre. a) Calcule la energía mecánica del sistema. b) ¿Qué altura máxima

alcanza la piedra y cuál es su energía potencial en esa posición? c) ¿Cuál es la magnitud de la velocidad de la piedra cuando alcanza la mitad de su altura máxima? d) Describa los cambios de las energías cinética y potencial durante este movimiento (Gettys *et al.*, 2005, p. 190).

Se pueden resaltar dos cuestiones en el enunciado transcripto. Primero, el hecho de que se desprecie o no la fricción del aire es irrelevante en la elección de un sistema; si se decide considerarla, aún podría elegirse el mismo sistema, sólo que habría una transferencia de energía a través de la frontera del mismo. Segundo, es el único de los ejemplares analizados en el que los autores identifican como elementos del sistema a la piedra y la gravitación terrestre, es decir, el sistema está conformado por un objeto concreto y una interacción. En los demás textos, el sistema de interés, para problemas similares, está conformado por la piedra y la Tierra que interactúan gravitacionalmente.

En F, tal como se señaló en los capítulos previos de esta tesis, 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. La siguiente afirmación se extrajo de la resolución de un problema, en el cual se identifica de manera incorrecta el sistema sobre el que se hará la discusión. Los autores plantean: “En esta situación, el sistema consiste en dos bloques, el resorte y la Tierra. El sistema está aislado con una fuerza no conservativa en acción” (Serway y Jewett, 2009, p. 213). Dado que se está considerando que la fuerza de fricción es interna al sistema (la afirmación el sistema está aislado permite realizar esta inferencia), la superficie de la mesa sobre la que se apoya uno de los bloques debe ser parte de dicho sistema, en virtud de que la fuerza de fricción transforma parte de la energía inicialmente disponible en el sistema en energía interna del bloque y de la superficie. Sin embargo, esto no está aclarado en la resolución que se presenta.

En I, como ya se ha señalado antes, se usa la palabra sistema en su acepción general. Una sola excepción se encontró en la resolución de un problema que ofrecen los autores a modo de ejemplo. No obstante, la identificación que se realiza del sistema no se corresponde con la resolución propuesta. Dicho problema, y parte de la solución, se exponen a continuación:

Un pintor en un andamio deja caer una lata de pintura de 1.50 kg desde una altura de 6.00 m. a) ¿Qué energía cinética tiene la lata cuando está a una altura de 4.00 m? b) ¿Con qué rapidez llegará la lata al suelo? (La resistencia del aire es insignificante.)

Razonamiento. La energía mecánica total se conserva, ya que solo la fuerza conservativa de la gravedad actúa sobre el sistema (la lata). Podemos calcular la energía mecánica inicial total, y la energía potencial disminuye conforme aumenta(n) la energía cinética (y la rapidez)

Solución [...] (a) Es preferible calcular primero la energía mecánica total de la lata, pues esta cantidad se conserva durante la caída de la lata. En un principio, con $v_0 = 0$, la energía mecánica total de la lata es exclusivamente energía potencial. Si tomamos el suelo como el punto de referencia cero, tenemos,

$$E = K_0 + U_0 = 0 + mgy_0 = (1.50\text{kg})(9.80\text{m/s}^2)(6.00\text{m}) = 88.2\text{J}$$

La relación $E = K + U$ se sigue cumpliendo durante la caída de la lata, pero ahora ya sabemos el valor de E . Si reacomodamos la ecuación, tendremos $K = E - U$ y podemos calcular U en $y = 4.00$ m

$$K = E - U = 88.2\text{J} - (1.50\text{kg})(9.80\text{m/s}^2)(4.00\text{m}) = 29.4\text{J}$$

[...] (Wilson *et al.*, 2007, p. 159).

La solución propuesta atañe a un sistema constituido por la lata y la Tierra: en dicha situación la fuerza de gravedad es una fuerza conservativa interna y se puede plantear la conservación de la energía mecánica tal como se hizo. En cambio, si el

sistema está conformado por un único objeto, no puede asociársele una energía potencial y la resolución se debe realizar apelando al teorema de trabajo y energía cinética. Esto es, si el sistema es la lata, la única fuerza externa que realiza un trabajo sobre el sistema es la fuerza de gravedad, dicho trabajo es positivo dado que la fuerza y el desplazamiento tienen el mismo sentido:

$$W_{neto} = mg\Delta h = 1.50kg \times 9.80 \frac{m}{s^2} \times (6.00m - 4.00m) = 29,4J$$

Y usando el teorema de energía cinética se puede calcular la variación de energía cinética del sistema. Como la velocidad de la Tierra es insignificante comparada con la de la lata, la energía cinética del sistema es igual a la de la lata, e igual al trabajo neto. Obsérvese que ambas maneras de encarar la solución conducen a resultados numéricos idénticos. Sin embargo, tal como lo advierte Sefton (2004), el error está en atribuir la energía potencial a un objeto. En tanto, Lindsey y colaboradores (2012), han advertido que una inadecuada identificación del sistema involucrado puede ser fuente de errores como el detectado en este problema y otros adicionales. En los demás problemas resueltos, los autores no explicitan el sistema, esto debe ser inferido por los lectores.

En todos los problemas resueltos en E los autores identifican cuáles son los sistemas de interés. Por ejemplo, para la resolución del problema donde se pide determinar la velocidad y la aceleración de los bloques que constituyen la máquina de Atwood, se afirma: “Como nuestro sistema tomamos los dos bloques y la Tierra” (Resnick *et al.*, 2011, p. 264). Otro problema en que se consideran los sistemas es el siguiente:

PROBLEMA RESUELTO 13-2. Un bloque de 4.5 kg se lanza hacia arriba por una pendiente de 30°, con una rapidez inicial v de 5.0 m/s. Se observa que recorre una distancia $d = 1.5 m$ por el plano a medida que la rapidez disminuye gradualmente hasta cero. a) ¿Cuánta energía interna gana por fricción el sistema bloque + plano +

Tierra en este proceso? b) Después el bloque se desliza del reposo al plano. Suponiendo que la fricción produzca la misma ganancia de energía interna en el descenso, ¿qué velocidad tendrá el bloque al cruzar su ubicación inicial? (Resnick *et al.*, 2011, p. 283).

Cabe aclarar que en la resolución propuesta se cometió un pequeño error, porque en dos oportunidades se indica que se está calculando el cambio de energía cinética, cuando en una de estas ocasiones corresponde al cambio de energía potencial.

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). Sin embargo, en los problemas resueltos no se especifica cuál es el sistema considerado. Y en muchos de ellos, los autores atribuyen energía potencial a un objeto individual. No obstante, en este mismo ejemplar, al analizar los intercambios energéticos entre un resorte vertical y un bloque que pende de él 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).

8.5 Otras cuestiones

8.5.1 Acerca del uso del sistema lingüístico vinculado a la conservación de la energía

En gran parte de los libros 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. Se citan algunos enunciados de esta índole.

Recordemos que, como se mostró al inicio de este capítulo, 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. Por ejemplo, para el caso del cilindro que rueda sin resbalar, existe una fuerza no conservativa actuando en el sistema: la fuerza de fricción estática. Sin embargo, esta fuerza es la que proporciona el torque necesario para la rotación pero no disipa energía porque no realiza trabajo. Advertencias al respecto se han realizado desde la investigación educativa (Chernicoff, 1991; Cudmani, 1995).

Por otro lado, en B, el estudio de la conservación de la energía se inicia estableciendo 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, éstas deben efectuar trabajo para que ésta cambie. Por su parte, en otros ejemplares este aspecto no es tan puntillosamente tenido en cuenta. Por ejemplo, en F, en la introducción del capítulo “Conservación de la energía” 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, 2007, 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). Y en otro problema similar pero en el que se incluye la fuerza de rozamiento: “En este caso, la energía mecánica $E_{\text{mec}} = K + U_s$ 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, como por ejemplo: “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, tal como queda expuesto en la siguiente cita: “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 éstas 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

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

[...] *La energía mecánica total permanece constante en un sistema aislado donde sólo intervienen fuerzas conservativas* (Resnick *et al.*, 2011, p.261-262).

Las transcripciones incluidas en esta sección ponen de manifiesto los inconvenientes que podrían llegar a surgir y los errores conceptuales que los libros podrían inducir. Tal como lo ha señalado Jewett (2008b), muchas de las dificultades de los estudiantes pueden aparecer por un uso descuidado del lenguaje.

8.5.2. Acerca de la sobrevaloración de los aspectos operativos de la conservación de la energía

En varios ejemplares pueden leerse afirmaciones que subrayan su potencial como método para la resolución de problemas, subestimando su poder explicativo en las transformaciones que ocurren en la naturaleza. Por ejemplo: “El hecho de que existan cantidades que se conservan no sólo nos ofrece una noción más profunda de la naturaleza del mundo, sino también otra manera de enfocar la resolución de problemas prácticos” (Giancoli, 2009, p. 163); “Este principio se deduce de las leyes de Newton y es una alternativa útil para resolver muchos problemas de mecánica” (Tipler, 1993, p. 171), “Vamos a examinar otro método basado en uno de los conceptos verdaderamente fundamentales y universales de la física: la energía” (Resnick *et al.*, 2011, p. 229); “El nuevo método que vamos a presentar usa las ideas de trabajo y energía. La importancia del concepto de energía surge del principio de conservación de la energía...” (Young y Freedman, 2009, p. 181).

CAPÍTULO 9: CONCLUSIONES

9.1. Derivaciones del análisis realizado

Del análisis realizado, en lo que respecta a los aspectos organizativos de la información presente en los textos, se ha detectado que prácticamente no existe interacción entre el lector y los autores de los mismos, en el sentido de que en el desarrollo de los diferentes capítulos no se ofrece al primero ninguna justificación de la secuenciación de los contenidos ni del tratamiento del tema.

En lo referente a los aspectos transversales contemplados en el análisis, se detectaron, en diferente medida, la presencia de todos ellos. Con respecto al carácter racional del conocimiento científico, éste no puede ser inferido a partir de las presentaciones que se realizan, dado que los textos analizados no contemplan el devenir histórico de los conceptos, las luchas y triunfos que supusieron su establecimiento. Llama poderosamente la atención que no se mencionen los problemas que condujeron a la introducción del concepto de energía y de todo el cuerpo de conocimientos asociado. Tampoco se reconocen las contribuciones, que en forma independiente y con diferentes motivaciones, hicieron Joule, Helmholtz y Mayer y que condujeron al establecimiento de la ley de conservación de la energía. Las referencias históricas son escasas y sumamente escuetas, en líneas generales corresponden a comentarios breves que aparecen para indicar porqué cierta unidad de medida recibe el nombre con el que se la designa, y por lo general se limitan a situar cronológicamente al científico que trabajó en determinadas áreas, sin establecer cuáles eran los conflictos y controversias que se suscitaron en el desarrollo y aceptación de los conceptos tal como hoy se conocen.

La imagen de ciencia que se fomenta tiene poca vinculación con las sugerencias que se realizan desde la investigación. En este sentido, se encontraron pocos intentos de mostrar a la ciencia como un cuerpo organizado y coherente de conocimientos ordenados jerárquicamente, puesto que la explicitación acerca del estatus epistemológico de los conceptos que se presentan está poco explorada. Pudo detectarse que, en la mayoría de los libros, se engloba bajo el término ley a conceptos de naturaleza epistemológica diferente. Así se ha encontrado que se identifica la relación de proporcionalidad directa existente entre la fuerza de un resorte y la deformación como la ley de Hooke. Sin embargo, sólo en uno de éstos (Young y Freedman, 2009) se aclara que estrictamente hablando esa relación no es una ley. En esta misma línea, en un único ejemplar (Gettys *et al.*, 2005) las cuestiones relacionadas a la Epistemología son frecuentemente tenidas en cuenta, generalmente como cierre de los capítulos.

Por otro lado, la perspectiva de la ciencia como una actividad que busca lograr generalizaciones mediante la integración de campos aparentemente inconexos prácticamente no se contempla: en los textos no se explicita la revolución que supuso unificar la mecánica y la termodinámica vía el concepto de energía. Si bien en la literatura emanada de la investigación educativa se encontraron coincidencias en cuanto a la necesidad de establecer puentes entre la mecánica y la termodinámica, al tratar situaciones que se encuentran en la frontera de ambas ramas de la física (por ejemplo los procesos mecánicos donde se disipa energía por acción de la fuerza de rozamiento), un análisis de los libros más usados (al menos desde lo que está establecido en los programas de las diferentes asignaturas) muestra que, más allá de algunos acuerdos básicos, aparecen posturas diferenciadas en cuanto a las recomendaciones sobre la manera de presentar el tema. En este sentido, prácticamente no se plantearon problemas mecánicos que requieren la utilización de la primera ley de la termodinámica para su

resolución. Solamente en uno de los textos (Resnick *et al.*, 2011) se incluyen problemas de esta índole y se utiliza la primera ley en forma explícita, esto es, los autores manifiestamente así lo expresan. Es de destacar que en este mismo ejemplar, se encontraron referencias a la degradación de la energía, cuya comprensión, según Duit (1985), favorece, a su vez, la comprensión de la conservación de la energía.

Por otra parte, las relaciones entre Ciencia, Tecnología, Sociedad y Ambiente en los libros de texto están poco desarrolladas, solamente se encontraron alusiones explícitas en un único ejemplar (Hewitt, 2004). La inclusión de ejemplos de aplicaciones a la vida cotidiana está escasamente contemplada, estos aspectos posibilitarían mostrar la relevancia del concepto de energía y sus aplicaciones en la vida moderna, y consecuentemente funcionar como una estrategia para atraer al lector.

En lo vinculado a la inclusión de analogías, su uso está poco difundido. Se establecen comparaciones superficiales que no ahondan en las relaciones entre la base y el objetivo de la analogía y las correspondencias entre ambos dominios. Se infiere que el utilizar el adverbio como, con el que generalmente se inician las comparaciones, es suficiente para que el lector pueda tender los puentes que vinculen ambos dominios de conocimiento.

Con respecto a la importancia y utilidad que los autores otorgan al enfoque energético, pudo observarse que en casi todos los ejemplares inspeccionados, se resalta la potencialidad del mismo en la descripción del movimiento en situaciones que involucran fuerzas cuya naturaleza es desconocida; asimismo en ellos se advierte que tales situaciones son engorrosas o imposibles de resolver desde la cinemática o la dinámica. Paralelamente, se detectó que en casi un tercio de los libros, los autores, a su vez, advierten al lector que dicho enfoque ofrece información parcial sobre el movimiento porque no contempla la dependencia de las magnitudes de la posición y de

la velocidad con el tiempo. Sin embargo, la preeminencia otorgada a la descripción de movimientos ensombrece su poder explicativo en una amplia gama de fenómenos, y trasciende lo estrictamente ligado a la mecánica. Estas características podrían favorecer la consolidación de ideas alternativas en los lectores tal como lo revelaron algunas investigaciones al mostrar que los niños utilizan marcos alternativos que los conduce a identificar energía con movimiento (Duit, 1981a, 1984; Solomon 1985, Trumper 1997).

Por otra parte, en un ejemplar (Resnick *et al.*, 2011) se encontraron diferencias en la manera en que se definen desde la Física ciertos conceptos matemáticos. Es decir, las conceptualizaciones que de ellos se presentan en este ejemplar no se corresponden con las que se aceptan y manejan en el ámbito matemático. Esto podría constituirse en una fuente de complicaciones para el estudiante que no reconocería que en realidad se trata del mismo concepto. Similares resultados reportaron Pocoví y Collivadino (2014) en lo relativo a la simbología que se utiliza en el desarrollo del tema Campos desde los libros de Cálculo y de Física.

Con respecto a las conceptualizaciones que se ofrecen de la energía, se encontró que en la mitad de los libros de texto no se la define. En tanto que en un poco menos de la mitad se explicita que existen dificultades para hacerlo. Se concluye que la elaboración de una definición satisfactoria parece ser un problema asociado con la complejidad intrínseca del concepto, que no siempre es explicitada por los autores de los libros de texto.

En todos aquellos ejemplares en que se presenta una definición para el concepto se dice que es la capacidad de efectuar trabajo, y de éstos, sólo en dos, bajo el formato de una nota al pie de página, se advierte que definirla en términos del trabajo no es de validez general. Esta definición de energía en términos de trabajo fue criticada por Lehrman (1978), quien la considera estéril de contenido porque sólo facilita la

memorización en lugar de promover la comprensión. Por su parte, Duit (1981a) ha señalado que esta descripción tiene por propósito simplemente proporcionar al estudiante un ancla semántica inicial y, de ningún modo, brindar una definición operativa (Duit, 1981a). Pese a lo señalado desde la investigación educativa, en la mitad de los libros de texto analizados persiste esa definición. La tendencia observada revela que no existe un concepto único, absoluto o universal de energía y que este concepto no tiene una definición simple, tal como ya fue reportado por investigaciones del área (Sefton 2004; Sexl, 1981).

En la mayoría de los libros inspeccionados no se toma en consideración la polisemia del concepto. Sólo en tres se realiza una distinción superficial entre el significado que adquiere la energía en el contexto científico y en el cotidiano. Por otra parte, aun cuando la investigación del área ha sido prolífica en la documentación de las confusiones de los estudiantes que los lleva a identificar energía con corriente eléctrica, fuerza, trabajo o potencia, prácticamente no se encontraron frases que busquen aclarar eventuales confusiones entre la energía y los conceptos mencionados (Watts, 1983, Duit, 1981a, 1985, Solomon 1985, Trumper, 1991).

En todos los libros revisados se privilegia el estudio de la energía potencial y de la energía cinética, en la mayoría de ellos además se ofrece una definición del concepto de energía interna, generalmente en el contexto de la aparente violación de la conservación de la energía mecánica. Cabe aclarar que el número de páginas que cada ejemplar destina al estudio de las energías cinética y potencial es mucho mayor que el que corresponde al estudio de la energía interna; de ello se podrían llegar a realizar inferencias sobre la valoración de estos temas por parte de los autores. Sin embargo, el tratamiento otorgado está en consonancia con las sugerencias hechas desde la investigación educativa del tema: se ha indicado que profundizar en el estudio de

formas de energía diferentes de la cinética y potencial, si bien no es incorrecto, no redundaría en mejores resultados (Sefton, 2004); es preferible ahondar en las ideas de transformación, conservación y degradación de la energía en lugar de proporcionar a los estudiantes una larga lista de diferentes formas de energía (Kesidou y Duit, 1993).

Por otra parte, en varios se mencionan, a su vez, otros tipos de energía pero sin brindar definiciones rigurosas de las mismas. Con respecto al tratamiento dispensado a la energía cinética de una partícula, no hay diferencias: en el total de la muestra analizada se concuerda en que es la energía asociada al movimiento y se la define como la mitad de la masa multiplicada por el cuadrado de la rapidez del móvil.

En relación a esto, sí aparecen algunas diferencias de un ejemplar a otro cuando se considera la energía cinética de un sistema de partículas y en la manera de obtener la expresión que define la energía cinética de rotación. En lo relativo a la energía cinética para un sistema de partículas, en tres de los libros (Alonso y Finn, 1976; Resnick *et al.*, 2011; Tipler, 1993) se deduce una ecuación de dos términos en el que uno representa la energía cinética del sistema (entendida como el producto de la masa total por el cuadrado de la velocidad del centro de masa) y el otro corresponde a la energía cinética relativa al centro de masa (suma de las energías cinéticas de todas las partículas constituyentes cuyas velocidades están referidas al centro de masa). Para la segunda de estas contribuciones se detectaron diferentes denominaciones: energía cinética interna o energía cinética relativa al centro de masa. A partir de esta expresión, en los tres ejemplares se ofrecen argumentaciones para demostrar que la segunda de las contribuciones mencionadas es equivalente a la energía cinética de rotación alrededor del centro de masa. En dos ejemplares se presenta una ecuación análoga pero sin demostración, en uno de éstos (Young y Freedman, 2009) los autores se excusan diciendo que la prueba de la misma queda fuera de los objetivos del curso; y en el otro

(Tippens, 2007) no se hace justificación alguna de dicha ecuación: al lector le resta aceptar su validez como un dogma. En un ejemplar (Hewitt, 2004) no se aborda el tema de energía cinética de rotación. En los demás se lo hace vía el teorema de los ejes paralelos (teorema de Steiner), es decir, sin haber invocado previamente a la energía cinética de un sistema de partículas. Este enfoque y el descrito en primer lugar conducen a los mismos resultados.

La situación no es tan uniforme cuando de la energía potencial se trata. Si bien existe coincidencia en la expresión matemática utilizada para definir los diferentes tipos de energías potenciales considerados, hay ciertas diferencias cuando se realiza una interpretación coloquial de la misma: en algunos se dice que es energía de la posición, en otros que es energía asociada a la configuración de un sistema; mayoritariamente sin ofrecerse mayores detalles sobre a qué se refiere con los términos posición y configuración.

En este sentido, en uno de los textos inspeccionados (Tippens, 2007) se plantea que la energía potencial es igual a la magnitud del peso del objeto multiplicada por la altura a la que se encuentra respecto de algún nivel tomado como referencia, cuando en realidad esto corresponde a la definición de la energía potencial gravitacional. Un tratamiento de esta índole podría reforzar concepciones erróneas detectadas en los estudiantes al respecto: en la propia práctica docente se detectó que éstos identifican la energía potencial con energía potencial gravitacional, es decir, no contemplan otros tipos de energías potenciales. Se cree que el tratamiento inadecuado de este libro se debe a que en dicho ejemplar no se aborda fuerzas conservativas, tema que tampoco se trata en otro libro de texto (Hewitt, 2004). En este último y a diferencia de lo relatado precedentemente, si bien no se distinguen diferentes energías potenciales, no se comete esta imprudencia: el autor presenta solamente la energía potencial gravitacional. En los

demás textos se aclara convenientemente que existen diferentes tipos de energías potenciales de acuerdo a las fuerzas involucradas.

En lo que respecta a las situaciones que involucran fuerzas no conservativas internas efectuando trabajo, la descripción de los efectos que éstas producen se realiza mayoritariamente apelando al concepto de energía interna y en uno solo (Tipler, 1993) a la energía térmica. Del tratamiento dispensado se infiere que, si bien las palabras con las que se designan a las transformaciones energéticas que ocurren a medida que los sistemas incrementan su temperatura son diferentes, el uso es el mismo. Es decir, en diferentes libros se usan distintos términos pero el sentido que se le otorga a éstos es idéntico.

Pese a los señalamientos hechos desde la investigación educativa con respecto a las eventuales confusiones entre tipos de energía y fuentes, no se encontraron frases que orienten al lector al respecto. Solamente en un ejemplar (Hewitt, 2004) se considera el tema “Fuentes de energía” pero sin realizar intentos en direccionar las posibles confusiones hacia su superación. Llama la atención que esta faceta esté poco explorada en los libros, más teniendo en cuenta que la mayoría de ellos son de ediciones posteriores a las publicaciones de los artículos que contienen sugerencias explícitas al respecto.

En lo concerniente al carácter relativo de la energía, en todos los libros esto está adecuadamente explorado, principalmente en lo que a energía potencial se refiere. Mayoritariamente se afirma que los valores físicamente importantes son las variaciones de energía potencial y no sus valores absolutos. Asimismo se muestra la dependencia de los valores de energía potencial con el nivel elegido como referencia. Con respecto al carácter relativo de la energía cinética, se contempla pero menos frecuentemente. Según los resultados emanados de la investigación educativa, esto impacta en la enseñanza del

concepto de energía en términos científicos: la práctica extendida de emplear valores relativos, que corresponden a conceder arbitrariamente energía cero a cierta configuración, puede inducir a los estudiantes a concebir como absolutos los valores manejados, lo que beneficiaría una interpretación materialista de la energía, como algo que los objetos poseen (Doménech *et al.*, 2003).

Respecto a la explicitación del carácter sistémico de la energía, en la mayoría de los libros de texto inspeccionados, se encontraron un número importante de frases que especifican que la energía es una magnitud compartida por los elementos de un sistema. Dichas referencias fueron detectadas en lo que respecta exclusivamente a la energía potencial, no se encontraron frases referidas al carácter sistémico de la energía cinética.

A pesar de que varios investigadores realizaron advertencias sobre la importancia de comprender que la energía potencial es una propiedad de un sistema, no de un objeto, en varios de los libros se omite incluir comentarios al respecto. Paralelamente, y pese a los señalamientos realizados en el ámbito académico, en dos (Alonso y Finn, 1976; Tippens 2007) se encontraron frases que contemplan que a los objetos puede asociársele energía potencial. En el primero de éstos pudo deducirse que el otro elemento del sistema (la Tierra, el resorte, etc.) permanece implícito y debe ser inferido por el lector. En el segundo, no se pudo establecer cuál es la lógica que subyace a la presentación que se realiza, dado que en una oportunidad se afirma explícitamente que un objeto aislado no puede tener energía potencial y, en otras, esto se desdice con las aseveraciones lingüísticas que manifiestamente plantean que un objeto tiene energía potencial. Jewett (2008c), al respecto, señala que la energía potencial se asocia con una fuerza que opera entre los miembros de un sistema por lo que no puede relacionarse a uno de ellos solamente y Sefton (2004) agrega que la energía potencial se puede definir sólo para un sistema que consta de dos o más partes, una partícula aislada no puede tener energía

potencial. Por su parte, Doménech *et al.* (2003), advierte que, tal como pudo detectarse en esta tesis, se habla sistemáticamente de la energía cinética de un objeto, sin precisar que ésta expresa la capacidad del cuerpo para interactuar con otros en virtud a que se desplaza con respecto a ellos a cierta velocidad. Hablar de la energía cinética de un objeto sólo tiene sentido en la medida en que existen otros con los cuales puede interactuar. Es imprescindible insistir en que ésta también goza del mismo carácter sistémico que la energía potencial.

Para finalizar lo concerniente al tratamiento brindado a la conceptualización de la energía, 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 la identificación de las interacciones que éstos tienen con su entorno. Esto repercute necesariamente 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. La identificación de los sistemas se realiza más asiduamente en secciones posteriores de los libros donde se abordan los aspectos vinculados al trabajo, los vínculos entre trabajo y energía y la conservación de la energía. Sobre los mismos se desprenden conclusiones adicionales que serán presentadas en breve.

Con respecto a cómo se conceptualiza el trabajo, mayoritariamente se presenta una definición operacional en términos de la fuerza y el desplazamiento. Paralelamente, en la mitad de los libros inspeccionados, se lo conceptualiza adecuadamente como una transferencia de energía. En uno de ellos (Resnick *et al.*, 2011), rotundamente se establece que el trabajo y el calor son los dos mecanismos por los que un sistema interactúa con su entorno transfiriendo energía. Subyace a este planteo la idea de que no existen otros mecanismos para cambiar la energía de un sistema (quedando fuera la transferencia de energía vía ondas por ejemplo). Pero, a su vez, en este mismo ejemplar,

se afirma categóricamente que el calor y el trabajo deben ser entendidos como transferencias de energía ya que los cuerpos no pueden poseer ni calor ni trabajo. Esto coincide con lo señalado por Jewett (2008b).

Por otro lado, en lo que respecta a la definición operacional, la simbología es homogénea en cuanto a fuerza se refiere, pero es heterogénea en lo relativo al desplazamiento. En lo que respecta a la formulación matemática de la definición, pese a que casi todas las expresiones que lo definen operacionalmente tienen la misma estructura, las notaciones empleadas son algo diferentes. En algunos, esto se realiza empleando la notación de incrementos; y en otros, apelando a la formalización que provee el cálculo integral. Se sugiere que el empleo de la notación en términos de diferenciales (esto es definir el trabajo en términos de la integral de línea) redundaría en la posibilidad de extender de manera natural el concepto a casos más generales que incluyen fuerzas variables o trayectorias curvas. Con respecto al trabajo rotacional, en todos los textos se lo define como el producto de torque y desplazamiento angular, y se le atribuye las mismas características. Se estima que el tratamiento dado al trabajo rotacional es adecuado porque recupera lo que el estudiante ya sabe sobre el trabajo con magnitudes lineales.

Por otro lado, se observó que se emplean nomenclaturas iguales para representar distintas variables. En relación a esto, en un ejemplar (Tippens, 2007) se utiliza la letra W para referirse al peso, cuando en los demás ésta señala al trabajo. En ese mismo ejemplar no se encontró símbolo alguno para el trabajo, lo mismo sucede con su contraparte rotacional. Resultados similares fueron encontrados en el tratamiento dado a otros conceptos físicos (Giacosa *et al.*, 2019). De ello se desprende que el sistema simbólico empleado en la muestra de libros no es uniforme.

A diferencia de lo ocurrido con el tratamiento dado a la energía, en el caso del trabajo, en la mayoría de los libros se consideran los significados que el término adquiere tanto en el dominio científico como en el cotidiano. Solamente en dos ejemplares no se realiza esta distinción (Alonso y Finn, 1976; Tippens, 2007). Las eventuales concepciones alternativas del lector se consideran formulando ejemplos en los que se demanda la realización de un esfuerzo por parte del agente que ejecuta la fuerza y, sin embargo, no se efectúa trabajo, porque no existe desplazamiento o porque éste es perpendicular a la fuerza.

Por otro lado, como ya se mencionó, la estructura matemática de la definición operacional de trabajo es semejante en todos los textos. Sin embargo, en lo que a la interpretación del desplazamiento concierne, hubo importantes diferencias. En algunos libros se indica que éste corresponde al del punto de aplicación de la fuerza, en otros se lo entiende como el desplazamiento del objeto; en uno (Hewitt, 2004) se lo interpreta como la distancia recorrida por el objeto, pese a que esto no es un resultado de validez general. También se encontró que en un libro (Tippens, 2007) esta información no se explicita sino que tiene que ser inferida por el lector a partir de información complementaria, que se omite en el texto principal, pero que se exhibe en un esquema que lo acompaña. En virtud de estas características, se concluye, en acuerdo con Slisko (2005, p. 14), que “es fácil ponerse de acuerdo sobre el manejo matemático de fórmulas pero, en ocasiones, es realmente difícil hacerlo sobre su significado”.

Además de estas ambigüedades debidas a explicitaciones inadecuadas del significado del desplazamiento que interviene en la definición operacional de trabajo, se detectaron contradicciones que aparecen cuando no se logra integrar adecuadamente los sistemas lingüístico y simbólico. Por un lado, las aseveraciones lingüísticas acerca de cómo interpretar el desplazamiento, a veces, no coinciden con lo que se infiere de las

imágenes que forman parte del sistema simbólico. En particular, en un ejemplar se detectó que en la parte principal del texto, coloquialmente se afirma que se trata del desplazamiento del objeto y en varias de las imágenes que acompañan la exposición, se desliza que este es el del punto de aplicación de la fuerza (Young y Freedman, 2009). En otro, se da la situación inversa, expresamente se manifiesta que el desplazamiento se debe entender como el del punto de aplicación de la fuerza y, sin embargo, en algunas imágenes se sugiere que es el objeto el que se desliza (Serway y Jewett, 2007). Se adhiere a lo señalado por Jewett (2008a), respecto a que esta ambigüedad puede conducir a dificultades cuando los estudiantes se encuentran con fuerzas de fricción o aplicadas a objetos deformables o giratorios.

Por otra parte, algunos de los epígrafes que acompañan a las imágenes incorporan información pertinente que hace que estas ambigüedades desaparezcan y, paralelamente, guían al lector en la interpretación de las mismas. En otras ocasiones, los epígrafes no aportan información relevante, dado que son escuetos y sobresimplificados.

De las omisiones detectadas se desprende que los recortes y las simplificaciones realizados no siempre se traducen en descripciones adecuadas de los fenómenos. Se coincide con la comunidad de investigadores en Enseñanza de la Física en que las simplificaciones presentes en los libros de textos para el desarrollo de los conceptos físicos en general, y según los resultados de la presente tesis, de los energéticos en particular, son controvertidas (Forjan y Slisko, 2014; Giorgi *et al.*, 2014; Marino *et al.*, 2016; Giorgi *et al.*, 2017).

Por otro lado, los límites de validez de la definición operacional de trabajo están contemplados de manera explícita o insinuados en un poco menos de la mitad de los libros examinados. En general se afirma o se insinúa que es adecuada para partículas

puntuales, y en uno de los libros se plantea que lo es para desplazamientos calculables (Serway y Jewett, 2007).

En cuanto a la manera en que se obtiene el trabajo neto sobre un objeto, esto se puede hacer sumando todos los trabajos que producen cada una de las fuerzas implicadas o bien como el trabajo que realiza la fuerza neta. En la mitad de los ejemplares se lo define según la primera vía. En dos (Giancoli, 2009; Hewitt, 2004) únicamente según la segunda y en tres ejemplares (Resnick *et al.*, 2011, Tippens, 2007; Young y Freedman, 2009) se exponen ambas definiciones. Es una práctica usual, que aquellos autores que se inclinan por una forma de definir el trabajo neto, ya sea en las deducciones formales o en la resolución de problemas, muestren que siguiendo ambas se obtienen resultados idénticos. Sin embargo, no en todos se indica cuál es el escenario en el que esto es lícito. Mayoritariamente la descripción sobre la consideración o no de las condiciones para la equivalencia de ambos procedimientos, está ausente o debe ser inferida por el lector. En líneas generales, en los libros, al inicio del capítulo se afirma que se considera que el objeto es una partícula o puede ser considerado como tal, y luego el lector debe suponer que todo el desarrollo que sigue está en esa misma línea. En otras ocasiones no se realizan comentarios al respecto. Solamente en dos ejemplares (Serway y Jewett, 2007; Tipler, 1993) se expone explícitamente las condiciones en que se da la equivalencia entre las dos definiciones de trabajo neto. Se advierte que el hecho de obtener los mismos valores numéricos cuando se lo calcula como la suma de los trabajos individuales o cuando se lo hace como el trabajo realizado por la fuerza resultante, no es un resultado generalizable, sólo será cierto si todos los desplazamientos son iguales, lo cual se verifica para objetos puntuales o para cuerpos rígidos y no rotantes. En esto, los dos libros en cuestión, coinciden con los señalamientos hechos desde la investigación educativa del tema (Jewett, 2008a; Mungan, 2005).

Con respecto a la consideración de trabajos que no pueden ser calculados a través de la definición operacional, en pocos ejemplares se han tenido en cuenta los señalamientos hechos por Sherwood y Bernard (1984) acerca de lo impredecible del desplazamiento del punto de aplicación de la fuerza de fricción. Bauman (1992a) y Jewett (2008a) advierten que el trabajo de la fuerza de fricción no está definido operacionalmente. Pese a estas advertencias, en un poco más de la mitad de los libros persisten los planteos que concluyentemente los investigadores han señalado como inadecuados. Los inconvenientes detectados tienen relación con que se asume que los desplazamientos del objeto y del punto de aplicación de la fuerza de rozamiento son idénticos. Consecuentemente, calculan el trabajo de la fuerza de fricción como el producto de la magnitud de la fuerza por distancia.

En un poco menos de la mitad de los libros se establece que este trabajo es igual a una transferencia de energía y no es asimilable al producto de la fuerza por el desplazamiento. Tres de estos textos (Resnick *et al.*, 2011, Serway y Jewett, 2007; Tipler, 1993), remiten al lector al trabajo de Sherwood y Bernard (1984) para ampliar la información al respecto. En general se encontró coincidencia en que el trabajo de la fuerza de fricción implica la conversión de energía mecánica en otro tipo de energía, pero hay desacuerdos en la forma de nombrarlas: energía interna en la mayoría o energía térmica en uno (Tipler, 1993). Se establece que siempre que se disipe energía como consecuencia del trabajo de la fuerza de fricción, se debe tomar en consideración al calor. Sin embargo, no todos los ejemplares ofrecen una definición para este concepto. Entre los que sí la presentan, se adhiere mayoritariamente a que corresponde a una transferencia de energía entre un sistema y su entorno debido a que están a diferentes temperaturas. Solamente en un libro (Alonso y Finn, 1976), la definición de calor es sustancialmente distinta: es el conjunto del gran número de micro trabajos

realizados a nivel sub-microscópico, como consecuencia de las micro-fuerzas externas que operan sobre las partículas del sistema. Luego, se indica que, debido a la imposibilidad de proceder de esta manera, se introduce el concepto macroscópico de calor. Esta definición coincide con la propuesta por Doménech *et al.* (2003).

En cuanto a la identificación del agente que efectúa el trabajo y el sistema receptor del mismo, en líneas generales, estos aspectos están contemplados en los desarrollos propuestos en los libros. De ello se desprende que los libros se hicieron eco de los señalamientos realizados desde la investigación educativa, dado que la comprensión de los conceptos energéticos por parte de los estudiantes está fuertemente condicionada por el lenguaje usado para su presentación. En esta línea se observó que todos los ejemplares, algunos más frecuentemente que otros, evitan declaraciones incompletas y especifican la fuerza que hace el trabajo y el sistema que es el destinatario del mismo, según las sugerencias realizadas por Jewett (2008c). 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). En otros, se lo hace explícito y de modo reiterativo a lo largo de todo el desarrollo.

En todos los libros se hallaron desarrolladas las relaciones entre trabajo y energía, mayoritariamente se contempla el teorema de trabajo y energía cinética y el vínculo de las energías potenciales con el trabajo de fuerzas conservativas. El énfasis recae en estos dos aspectos, y en menor medida en el vínculo de las fuerzas no conservativas con la variación de otro tipo de energía (se destina menor cantidad de páginas en los libros al desarrollo de las relaciones entre trabajo no conservativo y la energía interna o térmica según el ejemplar considerado).

En todos los ejemplares se deduce el teorema de trabajo y energía, que vincula el trabajo neto con la variación de energía cinética, a partir de la segunda ley de Newton.

Existen diferencias en la manera de obtener el trabajo neto al que hace mención el teorema: puede obtenerse como la suma de todos los trabajos que producen cada una de las fuerzas involucradas o bien como el trabajo que realiza la fuerza neta. En la mayoría se lo define según la primera vía. Aun cuando no se lo diga explícitamente, en la simbología propuesta por los autores subyace la noción del trabajo neto como el realizado por la fuerza neta, ello se infiere de las deducciones del teorema a partir de la segunda ley de Newton que involucra la fuerza neta.

En la mayoría de los libros se establece que este es válido en sistemas inerciales de referencia y para objetos que pueden ser considerados como partículas. Sin embargo, los ejemplos utilizados involucran cuerpos extensos y las aclaraciones sobre las condiciones en que los mismos pueden modelizarse como partículas no siempre son explícitas. En uno de los libros (Resnick *et al.*, 2011), se reformula convenientemente el teorema de trabajo y energía para ser utilizado en situaciones que involucran cuerpos extensos imposibles de ser manejados como partículas. En este contexto, se lo presenta con la denominación “Energía del centro de masa”, se considera que el trabajo neto es el que realiza la fuerza neta, cuyo punto de aplicación es el centro de masa, y el desplazamiento involucrado es el de éste. Paralelamente se supone que el objeto se desplaza a una velocidad igual a la del centro de masa. En este ejemplar se hacen las aclaraciones necesarias para que el lector comprenda que esto en realidad no es una ecuación de energía y que solamente en el caso de objetos puntuales, los resultados que arroja esta expresión coinciden con el trabajo y la energía.

Con respecto a los vínculos entre el trabajo de las fuerzas conservativas y las energías potenciales, en líneas generales el tratamiento dispensado es similar en todos los libros. Se contemplan diferentes definiciones de fuerzas conservativas y se demuestra la equivalencia entre ellas. En dos ejemplares (Giancoli, 2009; Young y

Freedman, 2009) se remarca a su vez el carácter reversible del trabajo realizado por las fuerzas conservativas. En cuanto a los ejemplos propuestos para las fuerzas conservativas, la variedad de situaciones en ellos contemplada es relativamente baja. Se circunscriben principalmente a la fuerza gravitacional y la fuerza elástica del resorte. En dos ejemplares se consideran, a su vez, la fuerza electrostática (Resnick *et al.*, 2011; Young y Freedman, 2009). El ejemplo típico de fuerza no conservativa es la fuerza de fricción entre sólidos. En un ejemplar se consideró además a la fuerza de fricción entre un sólido que se desplaza inmerso en un fluido (Alonso y Finn, 1976). Prácticamente no se encontraron otros ejemplos de fuerzas no conservativas. Por otro lado, en ningún libro se explicita el carácter conservativo o no de las fuerzas que habitualmente se consideran en los problemas resueltos mediante consideraciones energéticas.

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

Muchas relaciones entre los conceptos no se desarrollan en los textos sino que deben ser inferidas por el lector. Esta conclusión es avalada por las inferencias realizadas a partir del análisis del problema de la montaña rusa con bucles circulares y

de los argumentos presentados en un libro para explicar porqué el trabajo realizado por la fuerza de tensión en una trayectoria circular es cero. En el primer caso no se presentan explicaciones que orienten al lector en cuáles son los principios físicos que condicionaron los cambios en el diseño de la forma de los bucles en las montañas rusas. En tanto que en el segundo, se indica que la tensión no hace trabajo por ser velocidad y fuerza vectores perpendiculares. En dicha afirmación es tarea del lector inferir que esto equivale a plantear que el trabajo es cero porque fuerza y desplazamiento son vectores ortogonales (al menos en las secciones en que se aborda trabajo y energía no se explicita que desplazamiento y velocidad son perpendiculares, esto debe estar disponible entre los conocimientos adquiridos por el lector).

Acerca de la manera en que se obtiene la conservación de la energía, en casi todos se procede a reformular el teorema de trabajo y energía 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, 2007) 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 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) los autores consideran 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).

Con respecto a la manera en que se enuncia la conservación de la energía, en la mayoría de los libros se lo hace 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. Por otro lado, el significado atribuido a la conservación, depende en gran medida de la sección del libro que se esté analizando, se ha observado que la conservación de la energía es entendida como un valor constante del sistema en el caso de sistemas aislados en que sólo efectúan trabajo las fuerzas conservativas. Cuando se amplía el tipo de sistemas bajo estudio, los autores la conciben como un invariante del universo.

En cuanto a la consideración de los sistemas que se utilizan para presentar y ejemplificar los conceptos que se están desarrollando, en la mayoría de los libros se encontraron alusiones a los mismos. 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 otras ocasiones se observó que, en los problemas resueltos, se identifican sistemas que no se corresponden con la solución presentada. Pese a lo mencionado, en varios ejemplares se ofrecen resoluciones que contemplan diferentes elecciones del sistema involucrado y, a su vez, se muestra que se obtienen los mismos resultados independientemente de la elección realizada.

Por otro lado, la manera en que se enuncia la conservación de la energía, generalmente enfatizando que no actúan fuerzas no conservativas en el sistema, podría ser el origen de concepciones erróneas en los lectores. El hecho de que actúen fuerzas no conservativas en los sistemas no condiciona la conservación o no de la energía, dado

que éstas pueden estar presentes pero no efectúan trabajo. 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 (por ejemplo, la fuerza no conservativa de la fricción estática provee el torque en el movimiento de rotación sin deslizamiento sin disipar energía).

Finalmente, en consonancia con Martínez Bonafé (2008), pudo detectarse que casi todos los libros enseñan lo mismo. Esta conclusión es avalada por lo observado en diferentes secciones de los libros de texto, que ofrecen enunciados declarativos muy similares e incluso las imágenes en que apoyan sus afirmaciones son prácticamente réplicas unas de otras. En palabras de de Pro (2003, p.177): “Si comparamos los índices de algunos textos usados habitualmente y los manuales de hace treinta años, seguimos con la cinemática, la dinámica, el trabajo y la energía... Casi los mismos contenidos en el mismo orden”.

9.2. Implicancias para la docencia

Algunas de las carencias de los libros de texto en torno a la presentación del concepto de energía, trabajo y la conservación de la energía señaladas en el apartado anterior, ponen de manifiesto la necesidad de que los docentes hagan un uso crítico de ellos y, en la medida de lo posible, diseñen materiales complementarios que faciliten la construcción de los significados de los conceptos estudiados. En este sentido, a aquellos docentes que dictan materias con contenidos relacionados con los conceptos desarrollados en esta tesis, se les recomienda que alerten a los estudiantes sobre algunos de los aspectos antes señalados. Dado que son muchas las facetas analizadas, se

considera que los aspectos más importantes a los que se debe prestar atención son, en particular, los siguientes:

- La complejidad intrínseca del concepto de energía (no siempre contemplada en los libros de texto). Las dificultades para construir una definición satisfactoria del concepto están ligadas con su complejidad, se estima conveniente advertir que ni en el seno de la comunidad de científicos existen consensos sobre si la energía tiene una existencia real y concreta o es un concepto de naturaleza abstracta.
- Discutir la polisemia del concepto de energía. Dado que en los libros está poco explorado este aspecto, es necesario que los docentes propicien instancias de reflexión sobre los significados que posee la palabra energía en el ámbito científico y en el cotidiano y que a su vez, permitan diferenciarla de los conceptos de fuerza y potencia con el que los estudiantes suelen asimilarla.
- Discutir la polisemia del concepto de trabajo. Si bien en los libros este aspecto se encuentra adecuadamente desarrollado en los libros de texto, se considera pertinente que los docentes planteen la reflexión sobre estos aspectos para exponer las eventuales concepciones alternativas de sus estudiantes.
- El carácter relativo y sistémico de la energía. Dado que en muchos libros de texto se pasan por alto estas cuestiones e incluso se deslizan errores conceptuales dado que se asigna energía potencial a una partícula aislada, se estima conveniente fomentar la reflexión sobre estos aspectos.
- La importancia de la elección de los sistemas en la discusión de problemas energéticos. Los tipos de energía presentes en un sistema quedan condicionados por la delimitación de los sistemas que se haya realizado y una inadecuada elección de los mismos podría conducir a errores de cálculo tal como lo han señalado Lindsey y colaboradores (2012).

- Los alcances y las limitaciones de la definición operacional de trabajo tan ampliamente difundida en la enseñanza. Existen situaciones en las que ésta falla, principalmente por la imposibilidad de calcular el desplazamiento que interviene en la misma. Por ejemplo, analizar las contradicciones que aparecen cuando se aplica la definición operacional para el cálculo del trabajo de la fuerza de fricción.
- La definición de trabajo neto. En muchos libros se presenta al trabajo neto como el que realiza la fuerza neta sobre un sistema sin explicitar la validez de la misma para partículas y para sistemas no deformables y no giratorios. Se estima conveniente analizar situaciones en que las dos formas de calcular el trabajo neto conduzcan a resultados diferentes para mostrar que la forma correcta de hacerlo es como la suma de los trabajos individuales realizada por cada fuerza individual.
- Los vínculos entre la mecánica y la termodinámica. Se sugiere tratar situaciones que se encuentran en la frontera de ambas, por ejemplo los procesos mecánicos donde se disipa energía por acción de la fuerza de rozamiento. En estos problemas mecánicos se requiere la utilización de la primera ley de la termodinámica para su resolución.
- El análisis del carácter conservativo o no de las fuerzas que habitualmente se consideran. En concordancia con Keeports (2006), se considera necesario analizar la naturaleza conservativa o no conservativa de algunas fuerzas, en particular, para la fuerza normal. Se sugiere el abordaje de algunos problemas sencillos en los que las superficies de apoyo no son estáticas, éstos permiten demostrar que en estas circunstancias la fuerza normal realiza trabajo. De este modo se evitaría la aparición de concepciones erróneas por parte de los estudiantes.
- Los alcances y limitaciones del teorema de trabajo y energía cinética. Se estima conveniente utilizar situaciones problemáticas que involucren objetos extensos que no pueden ser modelados como partículas para mostrar las contradicciones que se

producen al aplicar el teorema de trabajo y energía cinética fuera de su ámbito de validez.

- Abordar la conservación de la energía enunciándola de manera positiva y como una magnitud que permanece invariante para un sistema y su entorno. Se sugiere, por un lado, tal como lo ha señalado Solomon (1985), enunciar la conservación de la energía de manera positiva porque de este modo se provee al estudiante de pistas para encarar la resolución de situaciones problemáticas, y además atendiendo a su significado como un invariante del sistema y su entorno y no como una constante del movimiento, en concordancia con lo señalado por Bauman (1992 a).
- Reflexionar sobre el estatus epistemológico de la conservación de la energía. Se estima conveniente aclarar a los estudiantes que lo que se desarrolla en los libros de texto 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 la finalidad de mejorar el aprendizaje de estos conceptos por parte de los estudiantes se proyectó la elaboración de material bibliográfico alternativo, sin

embargo, esta es una de las acciones que quedaron pendientes luego del proceso de investigación llevado adelante en el marco de esta tesis. Además, surgen otras posibles líneas de investigación a futuro, como la extensión de un análisis similar a los libros utilizados para la enseñanza de la termodinámica y del electromagnetismo.

Dado que la metodología utilizada responde a un estudio de casos múltiples, se asume que los resultados hallados no son generalizables. Sin embargo, el análisis realizado pretendió mostrar una descripción del abordaje de energía, trabajo y conservación de la energía en los libros de texto comúnmente utilizados, empleando para ello categorías que arrojaron resultados que podrían alertar a los docentes que los recomiendan y/o utilizan. Asimismo se espera realizar una contribución en la investigación educativa centrada en la calidad de los libros de texto y la influencia que ellos puedan tener en el aprendizaje de Física universitaria.

REFERENCIAS

- Abd-El-Khalick, F., Myers, J., Summers, R., Brunner, J., Waight, N., Wahbeh, N. & Belarmino, J. (2017). A longitudinal analysis of the extent and manner of representations of nature of science in US high school biology and physics textbooks. *Journal of Research in Science Teaching*, 54(1), 82–120.
- Alexander, P. y Kulikowich, J. (1994). Learning from Physics text: A synthesis of recent research. *Journal of research in science teaching*, 31(9), 895-911.
- Alomá, E., y Malaver, M. (2007). Análisis de los conceptos de energía, calor, trabajo y el teorema de Carnot. *Enseñanza de las Ciencias*, 25(3), 387-400.
- Alonso, E. y Finn, E. (1976) *Física. Vol. I. Mecánica*. Barcelona, España: Fondo Educativo Interamericano S.A.
- Alvarez Mendez, J. (2001). *Entender la Didáctica, entender el Curriculum*. Madrid: Miño y Dávila
- Ander-Egg, E. (2008). *Métodos y Técnicas de investigación social, Vol. I: Acerca del conocimiento y del pensar científico*. 4ta reimpresión. Lumen. Argentina
- Ander-Egg, E. (2004). *Métodos y Técnicas de investigación social, Vol. II: La ciencia: su método y la expresión del conocimiento*. 2da reimpresión. Lumen. Argentina.
- Ander-Egg, E. (2010). *Métodos y Técnicas de investigación social, Vol. III: Cómo organizar el trabajo de investigación*. 3ra reimpresión. Lumen. Argentina.
- Ander-Egg, E. (2003). *Métodos y Técnicas de investigación social, Vol. IV: Técnicas para la recogida de datos e información*. 1ra edición. Lumen. Argentina.
- Apple, M. (1989). *Maestros y Textos. Una economía política de las relaciones de clase y de sexo en educación*. Madrid: Centro de Publicaciones del Ministerio de Educación y Ciencia.

- Arons, A. (1989). Developing the energy concepts in introductory physics. *The Physics Teacher*, 27, 506-517.
- Astolfi, J. P. (1994). El trabajo didáctico de los obstáculos, en el corazón de los aprendizajes científicos. *Enseñanza de las Ciencias*, 12(2), 206-216.
- Bachelard, G. (1965). *L'activité rationaliste de la physique contemporaine*. Paris: P.U.F.
- Bardin, L. (1996). *El análisis de contenido*. Madrid: Akal.
- Bauman, R. (1992a). Physics that textbook writers usually get wrong. *The Physics Teacher*, 30(5), 264-269.
- Bauman, R. (1992b). Physics that textbook writers usually get wrong: II. Heat and energy. *The Physics Teacher*, 30 (6), 353-356.
- Berenguer, R. (2009). Comentarios sobre el artículo “Algunas imprecisiones que nos encontramos en la física teórica actual”. *Latin American Journal of Physics Education*, 3(3), 1-9.
- Bravo, S. y Pesa, M. (2017). El tratamiento didáctico de los fenómenos de interferencia y difracción en textos de nivel universitario. *Revista de Enseñanza de la Física*, 29, 215-226.
- Brook, A. y Wells, P. (1988). Conserving the circus?, *Physics Education*, 23, 80-85.
- Bunge, M. (1999). La energía entre la física y la metafísica. *Revista de Enseñanza de la Física*, 12(1), 53-56.
- Caldeira, M. (2005). Los libros de texto de ciencias: ¿son como deberían ser? *Tarbiya: Revista de Investigación e Innovación Educativa del Instituto Universitario de Ciencias de la Educación*, 36,167-184.
- Campanario, J. y Otero, J. (2000a). La comprensión de los libros de texto, en F. Perales y P. Cañal (Eds.). *Didáctica de las Ciencias Experimentales* (323-338). Alcoy: Marfil.

- Campanario, J. y Otero, J. (2000b). Más allá de las ideas previas como dificultades de aprendizaje: las pautas de pensamiento, las concepciones epistemológicas y las estrategias metacognitivas de los alumnos de Ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 18(2), 155-169.
- Campanario, J. (2006). Using textbook errors to teach physics: examples of specific activities. *European Journal of Physics*, 27(4), 975-981.
- Carlino, P. (2003). Leer textos científicos y académicos en la educación superior: Obstáculos y bienvenidas a una nueva cultura. *Revista Uni-Pluri/versidad*, 3 (2), 17-23.
- Carr, M. & Kirkwood, V. (1988). Teaching and learning about energy in New Zealand secondary school junior science classrooms. *Physics Education*, 23(2), 86.
- Carrascosa, J. (2005). El problema de las concepciones alternativas en la actualidad (parte II). El cambio de concepciones alternativas. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 388-402.
- Catalán, L. C., Caballero, M. C. y Moreira, M. A. (2009). Los libros de texto usados por los alumnos para el aprendizaje del campo conceptual de la inducción electromagnética. *Latin American Journal of Physics Education*, 3(3), 656-664.
- 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.
- Cid, R. y Dasilva, G. (2012). Estudiando cómo los modelos atómicos son introducidos en los libros de texto de Secundaria. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 9(3), 329-337.

- 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
- Cuéllar, L.; Badillo, R. y Miranda, R. (2008). El modelo atómico de E. Rutherford del saber científico al conocimiento escolar. *Enseñanza de las Ciencias*, 26(1), 43-52.
- Custodio, F. y Pietrocola, J. (2004). Princípios nas ciências empíricas e o seu tratamento em livros didáticos. *Revista Ciência & Educação*, 10 (3), 383-399.
- da Rosa, C. ; Cótica, R. y Henrique, L. (2016). Analogias no estudo de eletricidade nos livros didáticos de física. *Revista Eletrônica de Enseñanza de las Ciencias*, 15(3), 363-379.
- 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.
- de Pro, C. y de Pro, A. (2011). ¿Qué estamos enseñando con los libros de texto? La electricidad y la electrónica de Tecnología en 3° ESO. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 8(2), 149-170.
- del Carmen, L. y Jiménez, M. (1997). Los libros de texto: un recurso flexible. *Revista Alambique*, 11, 7-14.
- Díaz, E. (2010) *Metodología de la Ciencias Sociales*. 4ta reimpresión. Buenos Aires. . Editorial Biblos
- Díaz, S. y González, L. (2011). La fuerza normal: ¿una fuerza conservativa? *Revista Mexicana de Física*. 57 (1) 51–56.

- Díaz, L. y Pandiella, S. (2007). Categorización de las ilustraciones presentes en libros de texto de Tecnología. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias* (6), 424-441.
- Dimopoulos, K., Koulaidis, V., y Sklaveniti, S. (2003). Towards an analysis of visual images in school science textbooks and press articles about science and technology. *Research in Science Education*, 33(2), 189-216.
- 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.
- Doménech, J. L.; Gil-Pérez, D.; Gras, A.; Torregrosa J.; Guisasola, G. y Salinas, J.; (2001). La enseñanza de la energía en la escuela secundaria. Un análisis crítico. *Revista de Enseñanza de la Física*, 14 (1), 45-60.
- Doménech, J.; Savall, F. y Torregrosa, J. (2013). ¿Los libros de texto de Bachillerato introducen adecuadamente los modelos atómicos de Thomson y Rutherford? *Enseñanza de las Ciencias*, 31(1), 29-43.
- Driver, R. & Warrington, L. (1985). Students' Use of the Principle of Energy Conservation in Problem Situations. *Physics Education*, 20(4), 171-176.
- 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
- Duit, R. (1984). Learning the energy concept in school-empirical results from the Philippines and West Germany. *Physics Education*, 9(2), 59-66

- Duit, R. (1987). Should energy be illustrated as something quasi - material?.
International Journal of Science Education, 9(2), 139-145
- Farina, J. y Utges, G. (2015). Significado Institucional de Entropía. *Revista de Enseñanza de la Física*, 27. (2), 279-287.
- Farina, J.; Milicic, B.; Jardón, A. y Fernández, P. (2016). Estructuras retóricas en libros de texto de física: argumentaciones sobre la entropía. *Revista de Enseñanza de la Física*, 28 (2), 109-117.
- Fernández, M. y Caballero, P. (2017). El libro de texto como objeto de estudio y recurso didáctico para el aprendizaje: fortalezas y debilidades. *Revista Electrónica Interuniversitaria de Formación del Profesorado*, 20(1), 201-217.
- Feynman, R.; Leighton, R. y Sands, M. (1987). *Física*. vol. 1. Bogotá: Adison Wesley Iberoamericana.
- Flores, F. y Ulloa N. (2014) ¿Cómo enseñan la entropía los profesores universitarios? *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 13 (2), 201-221.
- Forjan, M. & Sliško, J. (2014). Simplifications and idealizations in high school physics in thermodynamics, electricity and waves: A study of Slovenian textbooks. *Latin American Journal of Physics Education*, 8(2), 241-247.
- Forjan, M.; Slisko, J.; Marhl, M. & Grubelnik, V. (2014). Do solved problems in Slovenian secondary school physics textbooks emphasize modeling process? *Latin American Journal of Physics Education*, 8(3), 383-389.
- Galperin, D.; Raviolo, A.; Prieto, L. y Señorans, L. (2014) Análisis de imágenes presentes en textos de enseñanza primaria: día y noche y movimiento diario del Sol. *Revista de Enseñanza de la Física*, 26 (2), 121-129.

- Galperin, D. y Raviolo, A. (2017). Análisis de imágenes relacionadas con día/noche, estaciones y fases lunares en textos de enseñanza primaria, *Revista Electrónica de Investigación en Educación en Ciencias* (12), 1-11.
- García, A. (2008). Relaciones CTS en la educación científica básica. Un análisis desde los textos escolares en la Enseñanza de Electrónica. *Enseñanza de las Ciencias*, 26(3), 389-402.
- García, A. y Criado, A. (2008). Enfoque CTS en la enseñanza de la Energía Nuclear: análisis de su tratamiento. *Enseñanza de las Ciencias*, 26(1), 107-124.
- Garzón, I. y Slisko, J. (2010). Uso de la historia en la enseñanza de la física en los libros de texto de Ciencias 2 para segundo de secundaria. *Latin American Journal of Physics Education*, 4(1), 987-993.
- 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*. 2da Ed. México: McGraw Hill.
- Giacosa, N., Galeano, R., Wagner, P. W., Boari, M., Such, A., y Zang, C. (2017). Análisis del tratamiento de “oscilaciones electromagnéticas libres” en libros de texto universitarios. *Revista de Enseñanza de la Física*, 29 (2), 87-98.
- Giacosa, N., Giorgi, S., y Maidana, J. (2012). Circuitos de corriente continua RC en serie: Un análisis de textos universitarios y de otros recursos con incorporación de TIC. *Latin American Journal of Physics Education*, 6(3), 449-465.
- Giacosa, N., López, J., Maidana, J., Godoy, N., Boián, P. W., Boari, M., y Giorgi, S. (2016). Identificación de las imprecisiones de los problemas resueltos en libros de texto universitarios: circuitos de corriente alterna. *Revista de Enseñanza de la Física*, 28, 49-57.

- 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.
- Giacosa, N., Zang, C., Giorgi, S., Maidana, J. y Such, A. (2013). Circuitos resistivos-inductivos en corriente continua: análisis de su tratamiento en libros de texto del ciclo básico universitario y de un applet para complementar su enseñanza. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 30(2), 253-286.
- Giacosa, N., Zang, C., Galeano, R. y Such, A. (2014). Oscilaciones electromagnéticas forzadas: análisis del sistema simbólico y lingüístico empleado en libros de texto universitarios. *Revista de Enseñanza de la Física*, 26(2), 131-144.
- Giacosa, N., Zang, C., Galeano, R., Maidana, J. y Such, A. (2018). Análisis del tratamiento dado a los rayos paraxiales en libros de texto universitarios. *Revista de Enseñanza de la Física*, 30, 91-100.
- Giacosa, N.; Galeano, R.; Zang, C., Maidana, J. y Such, A. (2019). Experimento de la doble rendija de Young: análisis de libros de texto universitarios. *Revista de Enseñanza de la Física*, 31, 349-357.
- Giancoli, D. (2009) *Física para ciencias e ingeniería con física moderna. Volumen I*. 4ta Ed. México: Pearson Educación.
- Gimeno, J. y Pérez, A. (2005). *Comprender y transformar la enseñanza*. Madrid: Morata.
- Giorgi, S., Cámara, C., Marino, L., y Carreri, R. (2017). La complejidad de las simplificaciones en la enseñanza de la mecánica en el ciclo inicial universitario: el caso del tratamiento de las poleas en libros de texto. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 34(2), 414-434.

- Giorgi, S., Cámara, C., Marino, L., Carreri, R., y Bonazzola, M. (2014). Análisis de contenidos de Mecánica en libros de texto utilizados en la enseñanza de la Física en el ciclo inicial de carreras universitarias. *Revista de Enseñanza de la Física*, 26(2), 145-156.
- Hewitt, P (2004) *Física Conceptual*. 9na. 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.
- Hoyos, E. y Pocoví, M. (2018). Ontología del concepto de inducción electromagnética en libros de texto universitarios. *Revista de Enseñanza de la Física*, 30, 111-118.
- Hoyos, E. y Pocoví, C. (2014a). Explicitación de las transformaciones de Galileo: el eslabón perdido en los libros de Física básica. *Latin American Journal of Physics Education*, 8(4), 4506-1.
- Hoyos, E. y Pocoví, M. (2014b). Inducción Electromagnética en libros de texto universitarios básicos: análisis de la presentación en el sistema lingüístico. *Revista de Enseñanza de la Física*, 26 (2), 157-165.
- Hubisz, J. (2003) Middle-school texts don't make the grade. *Physics today*. 56 (5). pp. 50-54.
- Jetton, T. y Alexander, P. (2000) Learning from Text: A Multidimensional and Developmental Perspective. *Handbook of Reading Research*; Volumen III; Capítulo 7. Kamil, Mosenthal, Pearson & Barr.
- 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 II: Systems. *The Physics Teacher*, 46 (2), 81-86.

- Jewett Jr, J. W. (2008c). Energy and the Confused Student III: Language. *The Physics Teacher*, 46 (3), 149-153.
- Jewett Jr, J. W. (2008d). Energy and the Confused Student IV: A Global Approach to Energy. *The Physics Teacher*, 46 (4), 210-217.
- Jewett Jr, J. W. (2008e). Energy and the Confused Student V: The Energy/Momentum Approach to Problems Involving Rotating and Deformable Systems. *The Physics Teacher*, 46 (5), 269-274.
- Jiménez, J. y Perales, F. (2001). Aplicación del análisis secuencial al estudio del texto escrito e ilustraciones de los libros de física y química de la ESO. *Enseñanza de las Ciencias*, 19 (1), 3-19.
- Jiménez, J. y Perales, F. J. (2002). La evidencia experimental a través de la imagen de los libros de texto de Física y Química. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 1(2), 114-129.
- Keepports, D. (2006). The common force: conservative or nonconservative?, *Phys. Educ.* 41, 219-222
- Kesidou, S., & Duit, R. (1993). Students' conceptions of the second law of thermodynamics—an interpretive study. *Journal of research in science teaching*, 30(1), 85-106.
- Krapas, S. (2008). El Tratado sobre la Luz de Huygens y su transposición didáctica en la enseñanza introductoria de Óptica. *Revista de Enseñanza de la Física*, 21(2), 49-60.
- Krapas, S. (2011). Livros didáticos: Maxwell e a transposição didática da luz como onda eletromagnética. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 28(3), 564-600

- Krapas, S. y Corrêa, M. (2008). O conceito de campo: polissemia nos manuais, significados na física do passado e da atualidade, *Ciência & Educação*, (14), 15-33.
- Lehrman, R. (1973). Energy is not the ability to do work. *The Physics Teacher*, 11(1), 15-18.
- Lemke, J.L. (1997) Aprender a hablar ciencias. Lenguaje, aprendizaje y valores. Barcelona: Paidós.
- Lima, N., Ostermann, F. y Cavalcanti, C. (2017). Física Quântica no ensino médio: uma análise bakhtiniana de enunciados em livros didáticos de Física aprovados no PNLDEM2015. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 34(2), 435-459.
- Limón, M., y Carretero, M. (1997). Las ideas previas de los alumnos. ¿Qué aporta este enfoque a la enseñanza de las ciencias. En Carretero, M (comp.) *Construir y enseñar Ciencias Experimentales*. Buenos Aires: Aique Grupo Editor
- Lindsey, B., Heron, P. & Shaffer, P. (2012). Student understanding of energy: Difficulties related to systems. *American Journal of Physics*, 80(2), 154-163.
- Lobato, L. (2019). El novel sujeto lector ante el texto académico: El difícil paso de la comprensión general a la especializada. *Revista Electrónica Educare*, 23(2), 1-19.
- Luna, M. y Carreri, R. (2011). Supuestos epistemológicos en libros de texto de Física para nivel medio: Aspectos de su discurso pedagógico regulador. *Revista Electrónica de Investigación en Educación en Ciencias*. (6), 38-52.
- Machado, J. y Marmitt, D. (2016) Conceitos de força: significados em manuais didáticos. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias* 15, 281-296.
- Macías, A., Castro, J. y Maturano, C. (1999). Estudio de algunas variables que afectan la comprensión de textos de física. *Enseñanza de las Ciencias*, 17(3), 431-440.

- Mallinckrodt, A. J., & Leff, H. S. (1992). All about work. *American Journal of Physics*, 60(4), 356-365.
- Marino, L., Giorgi, S., Cámara, C., y Carreri, R. (2016). Hipótesis simplificadoras que pueden obstaculizar la comprensión de la Mecánica en el ciclo inicial universitario: el tratamiento de cuerdas inextensibles y de masas despreciables en libros de texto. *Revista de Enseñanza de la Física*, 28, 127-136.
- Marino, L., Giorgi, S., Cámara, C., y Carreri, R. (2015). Controversias en el tratamiento del movimiento oscilatorio armónico simple en libros de Física del nivel básico universitario. *Revista de Enseñanza de la Física*, 27(2), 79-87.
- Marino, L., Giorgi, S., Cámara, C., y Carreri, R. (2017). Los conceptos básicos involucrados en la ecuación de ondas armónicas mecánicas: su tratamiento en los libros de texto de física usados en el ciclo inicial universitario. *Revista de Enseñanza de la Física*, 29, 7-19.
- Marion, J. (1975). *Dinámica clásica de las partículas y sistemas*. 2da Ed. España: Editorial Reverté.
- Martín, C.; Prieto, T. y Jiménez, A. (2013). El problema de la producción y el consumo de energía: ¿cómo es tratado en los libros de texto de educación secundaria? *Enseñanza de las Ciencias*, 31 (2), 153-171.
- Martínez Bonafé, J. (2008). Los libros de texto como práctica discursiva. *RASE: Revista de la Asociación de Sociología de la Educación*, 1(1), 62-73.
- Martínez Bonafé, J. (2002). *Políticas del libro escolar*. Madrid: Ediciones Morata.
- Martínez, J. M. O. (1999). Algunas reflexiones sobre las concepciones alternativas y el cambio conceptual. *Enseñanza de las Ciencias*, 17(1), 93-107.

- Maturano, C. y Mazzitelli, C. (2018a). La lectura y la escritura en las clases planificadas por docentes de Ciencias Naturales de educación secundaria en Argentina. *Traslaciones: Revista Latinoamericana de Lectura y Escritura*, 5(10), 263-286.
- Maturano, C. y Mazzitelli, C. (2018b). Libros de texto de ciencias naturales, de ayer, de hoy y ¿de siempre? *Revista de Enseñanza de la Física*, 30(1), 49-62.
- MECyT (2007). Mejorar la enseñanza de las Ciencias y la Matemática: una prioridad nacional. Informe y Recomendaciones de la Comisión Nacional para el Mejoramiento de la Enseñanza de las Ciencias Naturales y la Matemática.
- Michinel, J. L. y D'Alessandro, A. (1993). Concepciones no formales de la energía en textos de Física para la escuela básica. *Revista de Enseñanza de la Física*, 6 (2), 37-53.
- Michinel, J.L y D'Alessandro, A. (1994). El concepto de energía: de las concepciones previas a las propuestas de un nuevo sublenguaje. *Enseñanza de las Ciencias*, 12(3), 369-381.
- Millar, R. (2005). Teaching about energy. Department of Educational Studies, Research Paper, 11. The University of York.
- Monteiro, M. y Nardi, R. (2015). As contribuições de Galileu à astronomia nas abordagens de livros didáticos de física: uma análise na perspectiva da natureza da ciência. *Revista Electrónica de Investigación en Educación en Ciencias*, 10(1), 58-73.
- Moreno, J.; Badillo, R. y Miranda, R. (2010). El modelo semicuántico de Bohr en los libros de texto. *Ciência & Educação*, 16(3), 611-629.
- Mungan, C. E. (2005). A primer on work-energy relationships for introductory physics. *The Physics Teacher*, 43(1), 10-16.

- Mungan, C. (2007). Thermodynamics of a block sliding across a frictional surface. *The Physics Teacher*, 45(5), 288-291.
- Murugó, M., Tallada, A. e Izquierdo, M. (2016). ¿Cómo se conceptualiza la energía en las unidades didácticas de biología? *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, 34(1), 73-90.
- Núñez, G.; Maturano, C.; Mazitelli C. y Pereira R. (2005) ¿Por qué persisten las dificultades en el aprendizaje de los conceptos de energía? *Revista Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales*, 18, 105-120.
- Occelli, M. y Valeiras, N. (2013). Los libros de texto de ciencias como objeto de investigación: una revisión bibliográfica. *Revista Enseñanza de las Ciencias*, 31(2), 133-152.
- Otero, M. R.; Moreira, M. A. y Greca, I. M. (2002) El uso de imágenes en textos de física para la enseñanza secundaria y universitaria. *Investigações em Ensino de Ciências*, 7 (2), 127-154.
- Penchina, C.M. (1978). Pseudowork-energy principle. *American Journal of Physics*, 46, 295-296.
- Perales, F. (2006) Pasado, presente y ¿futuro? de los libros de texto. *Alambique*, 48, 57-63.
- Perales, F. y Jiménez, J. (2002). Las ilustraciones en la enseñanza-aprendizaje de las ciencias. Análisis de libros de texto. *Enseñanza de las Ciencias*, 20(3), 369-386.
- Pérez, U., Álvarez, M. y Serrallé, J. (2009). Los errores de los libros de texto de primer curso de ESO sobre la evaluación histórica del conocimiento del universo. *Enseñanza de las Ciencias*, 27(1), 109-120.
- Pérez, M.; Marbà, A. e Izquierdo, M. (2016) ¿Cómo se conceptualiza la energía en las unidades didácticas de biología?, *Enseñanza de las Ciencias*, 34(1), 73-90.

- Pocoví, M. y Collivadino, C. (2014). Traducción entre lenguajes simbólicos de distintas áreas del conocimiento: el caso del flujo del campo eléctrico. *Enseñanza de las Ciencias.*, 32(2), 53-69.
- Pocoví, M. y Hoyos, H. (2011). Corriente de desplazamiento: su presentación en textos y su comprensión por parte de los estudiantes, *Enseñanza de las Ciencias*, (29), 275-287.
- Porta, L. y Silva, M. (2003). La investigación cualitativa: El Análisis de Contenido en la investigación educativa. En línea: <http://abacoenred.com/wp-content/uploads/2016/01/An%C3%A1lisis-de-contenido-en-investigaci%C3%B3n-educativa-UNMP-UNPA-2003.pdf.pdf> Recuperado el 15/04/2018.
- Portolés y Moreno (2008). *Algunas pautas y consideraciones para aprender de un texto educativo de ciencias*. Edición electrónica en: <http://www.eumed.net/libros-gratis/2008c/467/index.htm#indice>. Recuperado el 11/05/2019.
- Pozo Municio, J. I. y Gómez Crespo, M. A. (1998). *Aprender y enseñar ciencia. Del conocimiento cotidiano al conocimiento científico*. Madrid: Morata.
- Pozo, J. A., Sanz, A., Crespo, G., y Limón, M. (1991). Las ideas de los alumnos sobre la ciencia: una interpretación desde la psicología cognitiva. *Enseñanza de las Ciencias*, 9(1), 083-94.
- Quílez, J. (2009). Análisis de los errores que presentan los libros de texto universitarios de Química General al tratar la energía libre de Gibbs. *Enseñanza de las Ciencias*. 27(3). pp. 317-330.
- Resnick, R.; Halliday, D. y Krane, K. (2011). *Física. Vol 1*. 5ta. Ed. México: Grupo Editorial Patria.

- Romagnoli, C. y Massa, M. (2016). Análisis de contenidos de libros de textos de Ciencias Naturales para el Primer Ciclo de Educación Primaria: Un estudio centrado en los fenómenos luminosos. *Latin American Journal of Physics Education*, 10 (4), 4309-1 – 4309-9.
- San Martí.; Izquierdo, M. y García, P. (1999) Hablar y escribir: Una condición necesaria para aprender ciencias. *Cuadernos de Pedagogía*, 281, 54-58.
- Sautu, R.; Boniolo, P., Dalle, P. y Elbert, R. (2010) *Manual de metodología: construcción de marcos teóricos, formulación de objetivos y elección de la metodología*. 1ra impresión. Buenos Aires. Prometeo Libros.
- Schmid, G. (1982). Energy and its carriers. *Physics Education*, 17(5), 212-218.
- 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*. 7ma. Ed. México: Cenage Learning Ed.S.A.
- Sexl, R. U. (1981). Some observations concerning the teaching of the energy concept. *European Journal of Science Education*, 3(3), 285-289.
- Sherwood, B.A. (1983). Pseudowork and real work. *American Journal of Physics*, 51, 597-602.
- Sherwood, B. & Bernard, W. (1984). Work and heat transfer in the presence of sliding friction. *American Journal of Physics*, 52(11), 1001-1007.
- Silva, C. y Martins, M. (2010). Analogias e metáforas nos livros didáticos de física. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 27(2), 255-289.
- Silva, M. y Monteiro, M. (2015). Abordagens imagético-verbais relacionadas à balança elétrica de Coulomb em livros didáticos de Física. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 32(2), 320-350.

- Silva, C. y Pimentel, A. (2008). Uma análise da história da eletricidade presente em livros didáticos: o caso de Benjamin Franklin. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 25(1), 141-159.
- Slisko, J. (2000). Errores comunes en problemas numéricos de la física escolar. *Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales*. Nº 14. pp. 87-98.
- Slisko, J. (2003). Errores en los libros de texto de Física: ¿Cómo convertir estos obstáculos de aprendizaje en oportunidades para el desarrollo del pensamiento crítico. *Educación en Física. Incursiones en su investigación*. pp. 79-120.
- Slisko, J. (2005). Errores en los libros de texto de física:¿ cuáles son y por qué persisten tanto tiempo?.*Sinéctica*, (27), 13-23.
- Sociedade Brasileira de Física (1995). Atas XI Simpósio Nacional de Ensino de Física. Niterói-Rio de Janeiro: Universidade Federal Fluminense.
- Solbes, J., Guisasola, J. & Tarín, F. (2009). Teaching energy conservation as a unifying principle in physics. *Journal of Science Education and Technology*, 18(3), 265-274.
- Solbes, J. y Tarín, F. (1998). Algunas dificultades en torno a la conservación de la energía. *Enseñanza de las Ciencias*, 16(3), 387-397.
- Solbes, J. y Tarín, F. (2004). La enseñanza del principio de conservación de la energía: una propuesta y unos resultados. *Enseñanza de las Ciencias*, 22(2), 185-194.
- Solbes, J., y Tarín, F. (2008). Generalizando el concepto de energía y su conservación. *Didáctica de las ciencias experimentales y sociales*, (22), 155-180.
- Solomon, J. (1983). Learning about energy: How pupils think in two domains. *European Journal of Science Education*, 5(1), 49-59.
- Solomon, J. (1985). Teaching the conservation of energy. *Physics education*, 20 (4), 165-170.

- Stake, R. (1998) *Investigación con estudio de casos*. Ediciones Morata. Madrid.
- Tipler, P. (1993) *Física. Tomo 1*. 3ra. Ed. España: Reverté S.A.
- Tippens, P. (2011) *Física, conceptos y aplicaciones*. 7ma. Ed. Perú: McGraw Hill.
- Trumper, R. (1990). Being constructive: An alternative approach to the teaching of the energy concept: part one. *International Journal of Science Education*, 12(4), 343-354.
- 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. (1996). A Survey of Israeli Physics Students' Conceptions of Energy in Pre-service Training for High School Teachers. *Research in Science & Technological Education*, 14(2), 179-192.
- Trumper, R. (1997). Applying conceptual conflict strategies in the learning of the energy concept. *Research in Science & Technological Education*, 15(1), 5-18.
- Trumper, R. (1998). A longitudinal study of physics students' conceptions on energy in pre-service training for high school teachers. *Journal of Science Education and Technology*, 7(4), 311-318.
- Valles, M. (1999) *Técnicas cualitativas de investigación social. Reflexión metodológica y práctica profesional*. Editorial Síntesis Sociológica. España.
- 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., Bufa, A. y Lou, B. (2007) *Física*. 6ta. Ed. México: Pearson Educación.
- Young, H. y Freedman, R. (2009) *Física universitaria. Vol.1*. 12da. Ed. México: Pearson Educación.

Zang, C.; Giacosa, N. y Chrobak, R. (2019). El contenido científico en libros de textos: una revisión en revistas de acceso libre. *Latin American Journal of Physics Education* 13 (3), Sept. 2019, 3305-1 - 3305-23.

ANEXO

Tabla 1. Datos de las publicaciones leídas y procesadas en la delimitación de los antecedentes de la investigación

Grupo y cantidad	Descripción breve del tema investigado mediante palabras clave	Nivel Educ.	Artículos*	
Estudio de contenidos (67)	Física (32)	Masa, volumen y densidad	S	[1]
		Fuerza	U	[2]
		Trasformaciones de Galileo	U	[3]
		Energía, trabajo y teorema de Carnot	U	[4]
		M.A.S. y movimiento ondulatorio	U	[5,6]
		Entropía	U	[7, 8]
		Radiactividad en LT y tópicos de Física Nuclear	S	[9, 10]
		Campo y Campo eléctrico	S/U	[11, 12]
		Circuitos de corriente continua	U	[13, 14]
		Corriente de desplazamiento	U	[15]
		Inducción electromagnética	U	[16, 17, 18]
		Oscilaciones electromagnéticas libres y forzadas	U	[19, 20]
	Luz como onda electromagnética	S/U	[21]	
	Teoría ondulatoria de Huyguens	U	[22, 23]	
	Fenómenos luminosos en LT de Primaria. Interferencia y difracción	P/U	[24, 25]	
	Tratamiento del modelo de rayo paraxial	U	[26]	
	Simplificaciones que obstaculizan la comprensión de conceptos	S/U	[27,28, 29, 30]	
	Desarrollo matemático de contenidos físicos	S/U	[31, 32]	
	Biología (23)	Diversidad biológica	S	[33, 34, 35, 36, 37]
		Biotecnología y organismos transgénicos. Genética humana	S	[38, 39, 40]
		Teorías evolutivas de Lamarck y Darwin. Evolución humana	S	[41, 42]
		Energía en Biología en unidades de nutrición celular	S	[43]
		Conocimiento de plantas y/o animales	P	[44, 45]
		Bienestar animal y Comportamiento animal	S	[46, 47]
		Respiración celular	S	[48]
		Concepción de los microorganismos en niños y en libros	P	[49]
		Alimentación y actividad física en LT de primaria	P	[50]
		Enfermedades infecciosas.	S	[51]
	Enfermedades de transmisión sexual y prevención	S	[52, 53]	
	Leishmaniasis y Dengue	S	[54, 55]	
	Química (12)	Conceptos químicos en LT de Ciencias Naturales	P	[56]
		Sistemas materiales	P/S	[57]
Combustión		U	[58]	
Iones en las reacciones químicas		S/U	[59]	
Modelo de Lewis-Langmuir. Modelos de Kossel, Lewis y Pauling		S/U U	[60, 61]	
Constantes de equilibrio termodinámicas		U	[62]	
Estequiometría		U	[63]	
Teoría cinética de colisiones		S	[64]	
Evolución de los temas estructura atómica y molecular		U	[65, 66]	
Sustancia y reacción química		U	[67]	
Analogías (4)	Analogías en Electricidad	S	[68]	
	Analogías y metáforas en Física	S	[69]	
	Energía atómica y nuclear	S	[70]	
	Analogías en LT de Química del estado de Paraná	S	[71]	
Imprecisiones y errores (5)	En la evolución histórica del universo	S	[72]	
	Desarrollos de energía libre de Gibbs	U	[73]	
	Efecto invernadero	S	[74]	
	En concepto de sustancia	S/U	[75]	
	En problemas resueltos sobre circuitos de C.A.	U	[76]	
Relaciones CTS (9)	En LT de España y Portugal. En LT de primaria de Portugal	P	[77, 78]	
	Dispositivos tecnológicos cotidianos	S	[79]	
	En textos de Química	S	[80]	
	Conocimiento científico y tecnológico	U	[81]	
	En textos de electrónica y electricidad	S	[82, 83]	
	En enseñanza de energía nuclear	S	[84]	
En producción y consumo de energía	S	[85]		

Estudio de las imágenes (11)	De enlace químico	S/S/U	[86, 87]
	Equilibrio Químico	S	[88]
	Cuerpo humano	S	[89]
	Sistema respiratorio	P	[90]
	Ciclos de carbono y de nitrógeno	S	[91]
	Balanza de Coulomb	S	[92]
	Generación y distribución de energía en LT de Tecnología	S	[93]
	Día y la noche y movimiento diario del Sol	P	[94, 95]
	Diagramas de energía de orbitales	U	[96]
Actividades desarrolladas y sugeridas (6)	Análisis de problemas resueltos	U/S	[97, 98, 99]
	Actividades de aprendizaje	P	[100]
	Actividades experimentales	S	[101]
	Preguntas en LT de Cs. Naturales	P/S	[102]
Aspectos Históricos y de Naturaleza de la Ciencia (16)	Historia de la Ciencia en Química	S	[103]
	Argumentaciones en Entropía	U	[104]
	Historia en temas de estructura atómica	U	[105]
	Modelos atómicos	S/U	[106,107,108, 109]
	Historia de la doble hélice de ADN	S	[110]
	Abordaje histórico para la tabla periódica	S	[111]
	Historia de la Ciencia en la Física	S	[112, 113]
	Historia de la Ciencia en LT de Ciencias Naturales	P	[114]
	Naturaleza de la Ciencia en estudios de Galileo sobre astronomía	S	[115]
	Comparación entre LT previos al sistema educativo vigente y actuales	S	[116]
	Desarrollo de aspectos históricos en Física Cuántica	S	[117]
	Nociones sobre Epistemología y Física	S	[118]
Otras cuestiones (9)	Incidencia de la reforma LOGSE en LT.	S	[119]
	Alfabetización científica a partir de LT	S	[120]
	Inclusión de textos de divulgación científica en LT de Biología.	S	[121, 122]
	Salud y ambiente	S	[123]
	Efectos biológicos de las radiaciones	S/U	[124]
	Problemática ambiental	S	[125, 126]
	Estructuras expositivas en LT de Química	S	[127]

Tabla 2: * Datos de los artículos

- [1] Palacio Díaz, R. y Criado, A. (2017). Lo que no dicen los libros españoles de texto de educación secundaria obligatoria sobre la masa, el volumen y la densidad, *Enseñanza de las Ciencias*, (35), 51-70.
- [2] Machado, J. y Marmitt, D. (2016). Conceitos de força: significados em manuais didáticos, *Revista Eletrónica de Enseñanza de las Ciencias*, (15), 281-296.
- [3] Hoyos, E. y Pocióvi, C. (2014). Explicitación de las transformaciones de Galileo: el eslabón perdido en los libros de Física básica, *Lat. Am. J. Phys. Educ.*, (8), 4506-1.4.
- [4] Alomá, E. y Malaver, M. (2007). Análisis de los conceptos de energía, calor, trabajo y el teorema de Carnot, *Enseñanza de las Ciencias*, (25), 387-400.
- [5] Marino, L.; Giorgi, S.; Cámara, C. y Carreri, R. (2015). Controversias en el tratamiento del movimiento oscilatorio armónico simple en libros de Física del nivel básico universitario, *Revista de Enseñanza de la Física*, (27), 79-87.
- [6] Marino, L.; Giorgi, S.; Cámara, C. y Carreri, R. (2017). Los conceptos básicos involucrados en la ecuación de ondas armónicas mecánicas: su tratamiento en los libros de texto de física usados en el ciclo inicial universitario, *Revista de Enseñanza de la Física*, (29), 7-19.
- [7] Farina, J. y Utges, G. (2015). Significado Institucional de Entropía, *Revista de Enseñanza de la Física*, (27), 279-287.
- [8] Flores, F. y Ulloa N., (2014). ¿Cómo enseñan la entropía los profesores universitarios?, *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, (13), 201-221.
- [9] Corbelle, J. y Domínguez, J. (2016). Ideas de los alumnos sobre radiactividad al finalizar la enseñanza secundaria obligatoria y su relación con los libros de texto y la prensa. Un estudio de caso, *Enseñanza de las Ciencias*, (34), 113-142.
- [10] Tenório, A.; Souza, L.; Vallory, W. y Tenório, T. (2015). Análise de conteúdos de física nuclear em livros escolares brasileiros, *Revista Eletrónica de Enseñanza de las Ciencias*,(14), 2, 175-199.
- [11] Krapas, S. y Corrêa, M. (2008). O conceito de campo: polissemia nos manuais, significados na física do passado e da atualidade, *Ciência & Educação*, (14), 15-33.
- [12] Pocióvi, M. y Collivadino, C. (2014). Traducción entre lenguajes simbólicos de distintas áreas del conocimiento: el caso del flujo del campo eléctrico, *Enseñanza de las Ciencias*, (32), 53-69.

- [13] Giacosa, N.; Zang, C.; Giorgi, S.; Maidana, J y Such, A. (2013). Circuitos resistivos-inductivos en corriente continua: análisis de su tratamiento en libros de texto del ciclo básico universitario y de un applet para complementar su enseñanza, *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, (30), 253-286.
- [14] Giacosa, N.; Giorgi, S. y Maidana, J. (2012). Circuitos de corriente continua RC en serie: Un análisis de textos universitarios y de otros recursos con incorporación de TIC, *Lat. Am. J. Phys. Educ.*, (6), 449-465.
- [15] Pocoví, M. y Hoyos, H. (2011). Corriente de desplazamiento: su presentación en textos y su comprensión por parte de los estudiantes, *Enseñanza de las Ciencias*, (29), 275- 287.
- [16] Hoyos, E. y Pocoví, M. (2014). Inducción Electromagnética en libros de texto universitarios básicos: análisis de la presentación en el sistema lingüístico, *Revista de Enseñanza de la Física*, (26), 157-165.
- [17] Catalán, L.; Caballero, C. y Moreira, M. (2009). Los libros de texto usados por los alumnos para el aprendizaje del campo conceptual de la inducción electromagnética, *Lat. Am. J. Phys. Educ.*, (3), 656-664.
- [18] Hoyos, E. y Pocoví, C. (2018). Ontología del concepto de inducción electromagnética en libros de texto universitarios, *Revista de Enseñanza de la Física*, (29), 111-118.
- [19] Giacosa, N.; Galeano, R., Wagner, P., Boari, M., Such, A. y Zang, C. (2017). Análisis del tratamiento de “oscilaciones electromagnéticas libres” en libros de texto universitarios, *Revista de Enseñanza de la Física*, (29), 87-98.
- [20] Giacosa, N.; Zang, C.; Galeano, R. y Such, A. (2014). Oscilaciones electromagnéticas forzadas: análisis del sistema simbólico y lingüístico empleado en libros de texto universitarios, *Revista de Enseñanza de la Física*, (26), 131-144.
- [21] Krapas, S. (2011). Livros didáticos: Maxwell e a transposição didática da luz como onda eletromagnética. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, (28), 564-600.
- [22] Krapas, S. (2008). El Tratado sobre la Luz de Huygens y su transposición didáctica en la enseñanza introductoria de Óptica. *Revista de Enseñanza de la Física*, (21), 49-60.
- [23] Araújo, S. y da Silva, F. (2009). A teoria ondulatória de Huygens em livros didáticos para cursos superiores, *Ciência & Educação*, (15), 323-341.
- [24] Romagnoli, C. y Massa, M. (2016). Análisis de contenidos de libros de textos de Ciencias Naturales para el Primer Ciclo de Educación Primaria: Un estudio centrado en los fenómenos luminosos, *Lat. Am. J. Phys. Educ.*, (10), 4309-1.
- [25] Bravo, S. y Pesa, M. (2017). El tratamiento didáctico de los fenómenos de interferencia y difracción en textos de nivel universitario, *Revista de Enseñanza de la Física*, (29), 215-226.
- [26] Giacosa, N., Zang, C., Galeano, R., Maidana, J. y Such, A. (2018). Análisis del tratamiento dado a los rayos paraxiales en libros de texto universitarios, *Revista de Enseñanza de la Física*, (30), 91-100.
- [27] Forjan, M. y Sliško, J. (2014). Simplifications and idealizations in high school physics in thermodynamics, electricity and waves: A study of Slovenian textbooks, *Lat. Am. J. Phys. Educ.*, (8), 241-247.
- [28] 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.
- [29] 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), 414-434.
- [30] 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), 145-156.
- [31] Barbe, J.; Espinoza, L. y Gellert, U. (2017). El empobrecimiento matemático de las propuestas de enseñanza de Física en los textos oficiales de secundaria. *Enseñanza de las Ciencias*, (35), 71-88.
- [32] Sena, A.; Caballero, C. y Moreira, M. A. (2015). As equações matemáticas no ensino de Física: Uma análise de conteúdos em livros didáticos de Física, *Revista Eletrônica de Ensino de las Ciências*, (14), 312-325.
- [33] Bermúdez, G.; De Longhi, A. y Gavidia, V. (2016). El tratamiento de los bienes y servicios que aporta la biodiversidad en manuales de la educación secundaria española: un estudio epistemológico, *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, (13), 527-543.
- [34] Bermúdez, G.; De Longhi, A. y Gavidia, V. (2015). La enseñanza monumentalista y utilitarista de las causas de la biodiversidad y de las estrategias para su conservación: un estudio sobre la transposición didáctica de los manuales de la Educación Secundaria española, *Ciência & Educação*, (21), 673-691.
- [35] Bermúdez, G. y De Longhi, A. (2014). La transposición del concepto de diversidad biológica. Un estudio sobre los libros de texto de la educación secundaria española, *Enseñanza de las Ciencias*, (32), 285-302.
- [36] Bermúdez, G. (2018). ¿Cómo tratan los libros de texto españoles la pérdida de la biodiversidad? Un estudio cuali-cuantitativo sobre el nivel de complejidad y el efecto de la editorial y año de publicación, *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, (15), 1102-1.
- [37] Cardoso, C. y de Oliveira, A. (2013). Como os livros didáticos de biologia abordam as diferentes formas de estimar a biodiversidade?, *Ciência & Educação*, (19), 169-180.
- [38] Ocellì, M.; Valeiras, N. y Bernardello, G. (2015). La biotecnología en libros de texto de escuela secundaria: un

- análisis de los libros utilizados en Córdoba (Argentina), *Revista Electrónica de Investigación en Educación en Ciencias*, (10), 34-44.
- [39] Dourado, L. y Matos, L. (2014). A problemática dos organismos geneticamente modificados e a formação científica do cidadão comum: um estudo com manuais escolares de Ciências Naturais do 9º ano adotados em Portugal, *Ciência & Educação*, (20), 833-852.
- [40] Prochazka, L. y Franzolin, F. (2018). A genética humana nos livros didáticos brasileiros e o determinismo genético, *Ciência & Educação*, (24), 111-124.
- [41] Vasconcelos, A. y Rocha, J. T. D. (2010). As teorias de Lamarck e Darwin nos livros didáticos de Biologia no Brasil, *Ciência & Educação*, 16, 649-665.
- [42] Paesi, R. (2018). Evolução humana nos livros didáticos de Biologia: o antropocentrismo em questão. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, (17), 143-166.
- [43] Pérez, M.; Marbà, A. e Izquierdo, M. (2016). *¿Cómo se conceptualiza la energía en las unidades didácticas de biología?*, *Enseñanza de las Ciencias*, (34), 73-90.
- [44] Rodríguez, F.; de las Heras, M.; Romero R. y Cañal, P. (2014). El conocimiento escolar sobre los animales y las plantas en primaria: Un análisis del contenido específico en los libros de texto, *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, (13), 97-114.
- [45] Urones, C.; Escobar, B. y Vacas, J. (2013). Las plantas en los libros de Conocimiento del Medio de 2º ciclo de primaria, *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, (10), 328-352.
- [46] Mazas, B. y Fernández, R. (2016). El concepto de bienestar animal en el currículo de Secundaria y en los libros de texto de ciencias, *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, (13), 301-314.
- [47] Gonçalves, J.; Bessa, E. y de Medeiros, A. (2012). Comportamento animal no ensino de Biologia: possibilidades e alternativas a partir da análise de livros didáticos de Ensino Médio, *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, (11), 365-384.
- [48] Ferreiro, G. y Occelli, M. (2008). Análisis del abordaje de la respiración celular en textos escolares para el Ciclo Básico Unificado, *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, (7), 387-398.
- [49] Ballesteros, M.; Paños, E. y Reyes, J. (2018). Los microorganismos en la educación primaria. Ideas de los alumnos de 8 a 11 años e influencia de los libros de texto, *Enseñanza de las Ciencias*, (36), 79-98.
- [50] Torres, M.; Montelongo, M.; Navarro, C. y Gavidia, V. (2018). ¿Cómo abordan los textos de Educación Primaria la competencia en alimentación y actividad física?, *Revista Eureka sobre enseñanza y divulgación de las Ciencias*, (15), 1103-1.
- [51] Aznar, V. y Puig, B. (2014). ¿Cómo se presentan las enfermedades infecciosas en los libros de texto?, *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, (11), 135-144.
- [64] Filha, L.; de Souza, C. y Ribeiro, G. (2016). The approach to sexuality in PNLD textbooks: a focus on STI/AIDS and condoms, *Ciência & Educação*, (22), 773-788.
- [65] de Cicco, R. y Vargas, E. (2012). As Doenças Sexualmente Transmissíveis em livros didáticos de biologia: aportes para o ensino de ciências, *Revista Electrónica de Investigación en Educación en Ciencias*, (7), 1-12.
- [54] Franca, V.; Margonari, C. y Torres, V. (2011). Análise do conteúdo das leishmanioses em livros didáticos de ciências e biologia indicados pelo Programa Nacional de Livros Didáticos (2008/2009), *Ciência & Educação*, (17), 625-644.
- [55] Soares, S.; Nacif, D. y Torres, V. (2013). A dengue nos livros didáticos de ciências e biologia indicados pelo Programa Nacional do Livro Didático, *Ciência & Educação*, (19), 633-656.
- [56] Cava, R. y da Silva, A. (2014). *Química no ensino de ciências para as séries iniciais: uma análise de livros didáticos*, *Ciência & Educação*, (20), 243- 258.
- [57] Martínez, C.; García, S. y Rivadulla, J. (2009). *Qué saben los/as alumnos/as de Primaria y Secundaria sobre los sistemas materiales. Cómo lo tratan los textos escolares*. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, (8), 137-155.
- [58] Cabrera, H. (2012). Análisis descriptivo sobre el concepto combustión en libros de texto universitarios, *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, (9), 311-328.
- [59] Cássio, F.; de Sales, D; Corio, P. y Fernandez, C. (2012). O protagonismo subestimado dos íons nas transformações químicas em solução por livros didáticos e estudantes de química, *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, (11), 595-619.
- [60] Herreño, J.; Gallego, R. y Pérez, R. (2010). Transposición didáctica del modelo científico de Lewis-Langmuir, *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, (7), 527-543.
- [61] Moreno, M. (2016). Escala de confiabilidad de libros de texto y páginas web desde la transposición didáctica de modelos moleculares de Kossel, Lewis y Pauling, *Ciência & Educação*, (22), 81-98.
- [62] Quílez, J. y Quílez, J. (2014). Definición y cálculo de las constantes de equilibrio en los libros de texto de Química general preuniversitarios y universitarios, *Enseñanza de las Ciencias*, (32), 187-203.
- [63] Galagovsky, L.; Di Giacomo, M. y Alí, S. (2015). Estequiometría y ley de conservación de la masa: lo que puede ocultar la simplificación del discurso experto, *Ciência & Educação*, (21), 351-360.
- [64] Maia, M. y de Souza, A. (2010). *O tratamento probabilístico da teoria cinética de colisões em livros de Química brasileiros para o ensino médio*, *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, (9), 125-144.

- [65] González, F. y Sánchez, P. (2014). Contenidos de estructura atómica y molecular en libros de texto españoles de Química general (1928-1978), *Enseñanza de las Ciencias*, (32), 671-689.
- [66] Malaver, M.; Pujol, R. y Martínez, A. (2007). La calidad científica del contenido sobre el tema de la estructura de la materia en textos universitarios de química general, *Enseñanza de las Ciencias*, (25), 229-240.
- [67] Raviolo, A., Garritz, A. y Sosa, P. (2011). Sustancia y reacción química como conceptos centrales en química. Una discusión conceptual, histórica y didáctica, *Revista Eureka sobre enseñanza y divulgación de las Ciencias*, (8), 240-254.
- [68] da Rosa, C.; Cótica, R. y Henrique, L. (2016). Analogias no estudo de eletricidade nos livros didáticos de física, *Revista Eletrônica de Enseñanza de las Ciencias*, (15), 363-379.
- [69] Silva, C. y Martins, M. (2010). Analogias e metáforas nos livros didáticos de física, *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, (27), 255-289.
- [70] Cloute, J.; Gil, M. y Rodríguez, M. (2016). El imaginario social de la energía atómica en los manuales escolares españoles de Física y Química: análisis de un lenguaje específico, *Enseñanza de las Ciencias*, (34), 151-166.
- [71] Amorim, M.; Rodrigues, M. A. y Bellini, L. M. (2013). Análise crítica das analogias do livro didático público de Química do estado do Paraná, *Ciência & Educação*, (19), 135-150.
- [72] Pérez, U.; Álvarez, M. y Serrallé, J. (2009). Los errores de los libros de texto de primer curso de ESO sobre la evolución histórica del conocimiento del universo, *Enseñanza de las Ciencias*, (27), 109-120.
- [73] Quílez, J. (2009). Análisis de los errores que presentan los libros de texto universitarios de química general al tratar la energía libre de Gibbs, *Enseñanza de las Ciencias*, (27), 317-330.
- [74] de Lima Toledo, E. y Ferreira, L. (2015). Transposição didática como reforço de obstáculos epistemológicos em livro texto e em experimentos didáticos, *Revista Eletrônica de Enseñanza de las Ciencias* (14), 223-245.
- [75] Wesolowski, L. (2009). Possibilidades de deformação conceitual nos livros didáticos de Química brasileiros: o conceito de substância, *Revista Eletrônica de Enseñanza de las Ciências*, (8), 1004-1018.
- [76] Giacosa, N.; López, J.; Maidana, J.; Godoy, N.; Wagner Boián, P.; Boari, M. y Giorgi, S. (2016). Identificación de las imprecisiones de los problemas resueltos en libros de texto universitarios: circuitos de corriente alterna, *Revista de Enseñanza de la Física*, (28), 49-57.
- [77] Fernandes, I.; Pires, D. y Delgado, J. (2017). Las relaciones entre Ciencia, Tecnología, Sociedad y Ambiente, en los libros de texto de Educación Primaria: Un estudio comparativo entre Portugal y España, antes de las últimas reformas educativas, *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, (14), 54-68.
- [78] Fernandes, I.; Pires, D. y Delgado, J. (2018). Perspectiva Ciência, Tecnologia, Sociedade, Ambiente (CTSA) nos manuais escolares portugueses de Ciências Naturais do 6º ano de escolaridade, *Ciência & Educação*, (24), 875-890.
- [79] Fernández, M. y Torres, A. (2014). Los dispositivos tecnológicos cotidianos en libros de texto. Presencia y análisis de las exposiciones, *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, (11), 290-302.
- [80] Olivera, E.; Guerra, C.; Costa, N. y Del Pino, J. (2018). Abordagem CTS em manuais escolares de Química do 10º ano em Portugal: um estudo de avaliação, *Ciência & Educação*, (24), 891-910.
- [81] Martín, A.; Barrero, C.; Sánchez, L. y Cornejo, J. (2011). La visión del conocimiento científico y del conocimiento tecnológico en los libros de Química General utilizados en carreras de Ingeniería de la Universidad de Buenos Aires. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, (10), 550-566.
- [82] García, A. (2008). Relaciones CTS en la educación científica básica. Un análisis desde los textos escolares en la Enseñanza de Electrónica, *Enseñanza de las Ciencias*, (26), 389-402.
- [83] de Pro, C. y de Pro, A. (2011). ¿Qué estamos enseñando con los libros de texto? La electricidad y la electrónica de tecnología en 3º ESO, *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, (8), 149-170.
- [84] García, A. y Criado, A. (2008). Enfoque CTS en la enseñanza de la Energía Nuclear: análisis de su tratamiento, *Enseñanza de las Ciencias*, (26), 107-124.
- [85] Martín, C.; Prieto, T. y Jiménez, A. (2013). El problema de la producción y el consumo de energía: ¿cómo es tratado en los libros de texto de educación secundaria?, *Enseñanza de las Ciencias*, (31), 153-171.
- [86] Matus, L.; Benarroch, A. y Perales, F. (2008). Las imágenes sobre enlace químico usadas en los libros de texto de educación secundaria, *Enseñanza de las Ciencias*, (26), 153-176.
- [87] Matus, L.; Benarroch, A. y Nappa, N. (2011). La modelización del enlace químico en libros de texto de distintos niveles educativos, *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, (10), 178-201.
- [88] Bizarria, G.; Bossolani, K. y Ferreira, L., (2009). Categorização das imagens referentes ao tema equilíbrio químico nos livros aprovados pelo PNLEM, *Revista Eletrônica de Enseñanza de las Ciências*, (8), 711-721.
- [89] López, A. y Postigo, Y. (2014). Análisis de las imágenes del cuerpo humano en libros de texto españoles de primaria, *Enseñanza de las Ciencias*, (32), 551-570.
- [90] Ruppenthal, R. y Chitolina, M. (2013). O sistema respiratório nos livros didáticos de ciências das séries iniciais: uma análise do conteúdo, das imagens e atividades, *Ciência & Educação*, (19), 617-632.
- [91] Maldonado, F.; González, F. y Jiménez, M. (2007). Las ilustraciones de los ciclos biogeoquímicos del carbono y nitrógeno en los textos de secundaria, *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, (4), 442-460.
- [92] Silva, M. y Monteiro, M. (2015). Abordagens imagético-verbais relacionadas à balança elétrica de Coulomb em

- livros didáticos de Física, *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, (32), 320-350.
- [93] Diaz, L.; Pandiella, S. (2007). Categorización de las ilustraciones presentes en libros de texto de Tecnología, *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, (6), 424- 441.
- [94] Galperin, D.; Raviolo, A. (2017). Análisis de imágenes relacionadas con día/noche, estaciones y fases lunares en textos de enseñanza primaria, *Revista Electrónica de Investigación en Educación en Ciencias*, (12), 1-11.
- [95] Galperin, D.; Raviolo, A.; Prieto, L. y Señorans, L. (2014). Análisis de imágenes presentes en textos de enseñanza primaria: día y noche y movimiento diario del Sol, *Revista de Enseñanza de la Física*, (26), 121-129.
- [96] Rozentalski, E.; Porto, P. (2018). Diagramas de energia de orbitais em livros didáticos de Química Geral: uma análise sob o viés da semiótica Peirceana, *Ciência & Educação*, (24), 449-466.
- [97] Giacosa, N.; Vergara, M.; Zang, C.; Galeano, R. y Such, A. (2016). Descripción de los problemas resueltos de corriente alterna en libros de texto universitarios, *Revista de Enseñanza de la Física*, (28), 59-68.
- [98] Giacosa, N.; Zang, C.; Giorgi, S.; Maidana, J. y Such, A. (2015). Los problemas resueltos en libros de texto del ciclo básico universitario relativos a circuitos RL en corriente continua, *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, (32), 640-662.
- [99] Forjan, M.; Slisko, J.; Marhl, M. y Grubelnik, V. (2014). Do solved problems in Slovenian secondary school physics textbooks emphasize modeling process?, *Lat. Am. J. Phys. Educ.*, (8), 383-389.
- [100] López, D. y Guerra, M. (2013). Análisis de las actividades de aprendizaje incluidas en libros de texto de ciencias naturales para educación primaria utilizados en México, *Enseñanza de las Ciencias*, (31), 173-191.
- [101] Reis, W. y Martins, M. (2016). Estudo comparativo sobre as atividades experimentais em coleções de Física coincidentes recomendados nas edições 2012 e 2015 do PNLD, *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, (33), 462-476.
- [102] Torres, J.; Almeida, A. y Vasconcelos, C. (2015). Questionamento em manuais escolares: um estudo no âmbito das Ciências Naturais, *Ciência & Educação*, (21), 655-671.
- [103] Vidal, P. y Porto, P. (2012). A história da ciência nos livros didáticos de química do PNLEM 2007, *Ciência & Educação*, (18), 291-308.
- [104] Farina, J.; Milicic, B.; Jardón, A. y Fernández, P. (2016). Estructuras retóricas en libros de texto de física: argumentaciones sobre la entropía, *Revista de Enseñanza de la Física*, (28), 109-117.
- [105] Fariás, D.; Molina, M. y Castelló, J. (2013). Análisis del enfoque de historia y filosofía de la ciencia en libros de texto de química: el caso de la estructura atómica, *Enseñanza de las Ciencias*, (31), 115-133.
- [106] Cuéllar, L.; Badillo, R. y Miranda, R. (2008). El modelo atómico de E. Rutherford del saber científico al conocimiento escolar, *Enseñanza de las Ciencias*, (26), 43-52.
- [107] Domenech, J.; Savall, F. y Martínez, J. (2013). ¿Los libros de texto de Bachillerato introducen adecuadamente los modelos atómicos de Thomson y Rutherford?, *Enseñanza de las Ciencias*, (31), 29-43.
- [108] Manzano, R. y Dasilva, G. (2012). Estudiando cómo los modelos atómicos son introducidos en los libros de texto de Secundaria, *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, (9), 329-337.
- [109] Moreno, J.; Gallejo, R. y Pérez, R. (2010). El modelo semicuántico de Bohr en los libros de texto, *Ciência & Educação*, (16), 611-629.
- [110] Rodrigues, M.; Meneghello, M. y Vilas, A. (2013). A história da dupla hélice do DNA nos livros didáticos: suas potencialidades e uma proposta de diálogo, *Ciência & Educação*, (19), 599-616.
- [111] de Mattos, C.; Eichler, M.; Miskinis, T. y Del Pino, J. (2012). A abordagem histórica acerca da produção e da recepção da Tabela Periódica em livros didáticos brasileiros para o ensino médio, *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, (11), 521-545.
- [112] Garzón, I. y Slisko, J. (2010). Uso de la historia en la enseñanza de la física en los libros de texto de Ciencias para segundo de secundaria, *Lat. Am. J. Phys. Educ.*, (4), 987-993.
- [113] Silva, C. y Pimentel, A. (2008). Uma análise da história da eletricidade presente em livros didáticos: o caso de Benjamin Franklin, *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, (25), 141-159.
- [114] Pereira, A. y Amador, F. (2007). A História da Ciência em manuais escolares de Ciências da Natureza, *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, (6), 191-216.
- [115] Monteiro, M. y Nardi, R. (2015). As contribuições de Galileu à astronomia nas abordagens de livros didáticos de física: uma análise na perspectiva da natureza da ciência. *Revista Electrónica de Investigación en Educación en Ciencias*, (10), 58-73.
- [116] Maturano, C. y Mazzitelli, C. (2018). Libros de texto de ciencias naturales, de ayer, de hoy y, ¿de siempre, *Revista de Enseñanza de la Física*, (30), 49-62.
- [117] Lima, N.; Ostermann, F. y Cavalcanti, C. (2017). Física Quântica no ensino médio: uma análise bakhtiniana de enunciados em livros didáticos de Física aprovados no PNLD 2015, *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, (34), 435-459.
- [118] Luna, M. y Carreri, R. (2011). Supuestos epistemológicos en libros de texto de Física para nivel medio: Aspectos de su discurso pedagógico regulador, *Revista Electrónica de Investigación en Educación en Ciencias* (6), 38-52.
- [119] de Pro, A., Sánchez, G. y Valcárcel, M. (2008). Análisis de los libros de texto de física y química en el

contexto de la Reforma LOGSE, *Enseñanza de las Ciencias*, (26), 193-210.

- [120] Uribe, M. y Ortiz, I. (2014). Programas de estudio y textos escolares para la enseñanza secundaria en Chile: ¿qué oportunidades de alfabetización científica ofrecen? *Enseñanza de las Ciencias*, (32), 37-52.
- [121] de Souza, P. y Rocha, M. (2017). Análise da linguagem de textos de divulgação científica em livros didáticos: contribuições para o ensino de biologia, *Ciência & Educação*, (23), 321-340.
- [122] de Souza, P. y Rocha, M. (2018). O caráter híbrido dos textos de divulgação científica inseridos em livros didáticos, *Ciência & Educação*, (24), 1043-1063.
- [123] Pinhão, F. y Martins, I. (2012). O discurso sobre saúde e ambiente no livro didático de ciências brasileiro, *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, (11), 342-364.
- [124] Cornejo, J.; Speltini, C.; Roble, M. y Santilli, H. (2010) ¿Qué conocimientos se enseñan y se aprenden en la escuela media argentina acerca de los efectos biológicos de las radiaciones?, *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, (7), 492-508.
- [125] Montañés, S. y Jaén, M. (2015). ¿Qué características presentan los contenidos relacionados con las problemáticas ambientales propuestos en los libros de texto de 3° de la ESO?, *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, (12), 130-148.
- [126] Bonotto, D. y Semprebone, A. (2010). Educação ambiental e educação em valores em livros didáticos de ciências naturais, *Ciência & Educação*, (16), 131-148.
- [127] Marzábal, A. e Izquierdo, M. (2017). Análisis de las estructuras textuales de los textos escolares de Química en relación a su función docente, *Enseñanza de las Ciencias*, (35), 111-132.

Tabla 3. Secuencia con que se desarrollan los contenidos relacionados a la energía

A. Alonso y Finn (1976)	B. Gettys et al. (2005)	C. Giancoli (2009)	D. Hewitt (2004)	E. Resnick <i>et al.</i> (2011)	F. Serway y Jewett (2007)	G. Tipler (1993)	H. Tippens (2007)	I. Wilson <i>et al</i> (2007)	J. Young y Freedman (2009)
<p>1. Introducción 2. Mediciones y unidades 3. Vectores. 4. Fuerzas 5. Cinemática 6. Movimiento relativo. 7. Dinámica de una partícula Ley de inercia. Momentum lineal. Principio de conservación del momentum. Segunda y tercera leyes de Newton. Fuerzas de fricción. Fuerzas de fricción en los fluidos. Sistemas con masa variable. Movimiento curvilíneo. Momentum angular. Fuerzas centrales. Equilibrio y reposo. 8. Trabajo y energía. Trabajo. Potencia. Energía cinética. Trabajo de una fuerza de magnitud y dirección constantes. Energía potencial. Conservación de la energía de una partícula. Movimiento rectilíneo bajo fuerzas conservativas.</p>	<p>1. Patrones de medida y sistemas de unidades 2. Vectores 3. Movimiento en una dimensión 4. Movimiento en dos dimensiones 5. Leyes de Newton para el movimiento 6. Aplicaciones de las leyes de Newton del movimiento. 7. Ley de Newton de la gravitación universal 8. Trabajo y Energía Trabajo realizado por una fuerza constante. Trabajo realizado por una fuerza variable. Teorema de la energía cinética. Potencia 9. Conservación de la energía Sistemas conservativos en una dimensión. Análisis gráfico de sistemas conservativos. Fuerzas conservativas y</p>	<p>1. Introducción, mediciones, estimaciones 2. Descripción del movimiento. Cinemática en una dimensión 3. Cinemática en dos o tres dimensiones: vectores 4. Dinámica: leyes de Newton 5. Aplicaciones de las leyes de Newton: Fricción, movimiento circular y arrastre 6. Gravitación y síntesis de Newton 7. Trabajo y Energía Trabajo realizado por una fuerza constante. Trabajo efectuado por una fuerza variable. Energía cinética y el principio del trabajo y la energía. 8. Conservación de la energía Fuerzas conservativas y fuerzas no conservativas. Energía potencial. Energía mecánica y</p>	<p>1. Acerca de la ciencia 2. Primera ley de Newton de movimiento: inercia 3. Movimiento rectilíneo 4. Segunda ley de Newton de movimiento 5. Tercera ley de Newton de movimiento: inercia 6. Cantidad de movimiento 7. Energía Trabajo. Potencia. Energía mecánica. Energía cinética. Energía potencial. Teorema de trabajo y energía. Conservación de la energía. Máquinas. Eficiencia. Comparación de la energía cinética y la cantidad de movimiento. Fuentes de energía Energía para la vida. 8. Movimiento rotatorio 9. Gravedad (leyes de la Gravitación de Newton y de Einstein) 10. Movimiento balístico y de</p>	<p>1. Medición 2. Movimiento en un dimensión 3. Fuerza y las leyes de Newton 4. Movimiento en dos y tres dimensiones 5. Aplicaciones de las leyes de Newton 6. Momento 7. Sistemas de partículas 8. Cinemática rotacional 9. Dinámica rotacional 10. Momento angular 11. Trabajo y energía cinética Trabajo y energía. Trabajo realizado por una fuerza constante. Potencia. Trabajo realizado por una fuerza variable. Energía cinética y teorema de trabajo y energía. Energía cinética en el movimiento rotacional. Energía cinética en colisiones 12. Energía potencial Fuerzas conservativas. Energía potencial Conservación de la energía mecánica. Conservación de la</p>	<p>1. Física y medición 2. Movimiento en una dimensión 3. Vectores 4. Movimiento en dos dimensiones 5. Las leyes del movimiento 6. Movimiento circular y otras aplicaciones de las leyes de Newton 7. Energía de un sistema Sistemas y entornos. Trabajo invertido por una fuerza constante. Trabajo consumido por una fuerza variable. Energía cinética y teorema trabajo y energía cinética. Energía potencial de un sistema. Fuerzas conservativas y no conservativas. Fuerzas conservativas y energía potencial. Diagramas de energía y equilibrio de un sistema. 8. Conservación de la energía El sistema no aislado: conservación de energía El sistema aislado.</p>	<p>1. Sistemas de medida 2. Movimiento en una dimensión 3. Movimiento en dos y tres dimensiones 4. Leyes de Newton 5. Aplicaciones de las leyes de Newton 6. Trabajo y energía Trabajo y energía cinética. Potencia. Trabajo y energía en tres dimensiones. Energía potencial. Fuerza conservativas. Fuerzas no conservativas Energía potencial y equilibrio. 7. Conservación de la energía Conservación de la energía mecánica. Conservación de la energía. Problemas en que interviene el rozamiento cinético. Masa y energía.</p>	<p>1. Introducción 2. Matemáticas técnicas 3. Mediciones técnicas y vectores 4. Equilibrio traslacional y fricción 5. Momento de torsión y equilibrio rotacional 6. Aceleración uniforme 7. Segunda ley de Newton 8. Trabajo, energía y potencia Trabajo. Trabajo resultante. Energía. Trabajo y energía cinética. Energía potencial. Conservación de energía. Energía y fuerzas de fricción. Potencia. 9. Impulso y cantidad de movimiento 10. Movimiento circular uniforme 11. Rotación de cuerpos rígidos 12. Máquinas simples 13. Elasticidad 14. Movimiento armónico simple 15. Fluidos 16. Temperatura y dilatación</p>	<p>1. Medición y resolución de problemas 2. Cinemática: descripción del movimiento 3. Movimiento en dos dimensiones 4. Fuerza y movimiento 5. Trabajo y energía Trabajo efectuado por una fuerza constante. Trabajo efectuado por una fuerza variable. El teorema trabajo-energía: energía cinética. Energía potencial. Conservación de la energía 6. Cantidad de movimiento lineal y choques 7. Movimiento circular y gravitacional 8. Movimiento rotacional y equilibrio 9. Sólidos y fluidos 10. Temperatura y teoría cinética 11. Calor 12.</p>	<p>1. Unidades, cantidades físicas y vectores. 2. Movimiento en línea recta. 3. Movimiento en dos o en tres dimensiones. 4. Leyes del movimiento de Newton. 5. Aplicación de las leyes de Newton. 6. Trabajo y energía cinética Trabajo. Energía cinética y el teorema trabajo-energía. Trabajo y energía con fuerza variable. Potencia. 7. Energía potencial y conservación de la energía. Energía potencial gravitacional. Energía potencial elástica. Fuerzas conservativas y no conservativas. Fuerza y energía potencial. Diagramas de energía. 8. Momento lineal, impulso y choques.</p>

<p>Movimiento bajo fuerzas centrales conservativas. Curvas de energía potencial. Fuerzas no conservativas. Crítica del concepto de energía.</p> <p>9. Dinámica de un sistema de partículas. Movimiento del centro de masa de un sistema de partículas. Masa reducida. Energía cinética de un sistema de partículas. Conservación de la energía de un sistema de partículas. Colisiones. Sistemas de muchas partículas: trabajo y calor. Reformulación del principio de conservación de la energía para sistema de muchas partículas.</p> <p>10. Dinámica de un cuerpo rígido.</p> <p>11. Dinámica de alta energía.</p> <p>12. Movimiento oscilatorio</p> <p>13. Interacción gravitacional</p>	<p>energía potencial. Conservación de la energía mecánica. Fuerzas no conservativas y trabajo interno. Ley de conservación de la energía</p> <p>Movimiento de un satélite y velocidad de escape</p> <p>10. Conservación de momentum. Movimiento de un sistema de partículas</p> <p>11. Equilibrio estático de un cuerpo rígido</p> <p>12. Rotación I. Energía cinética rotacional.</p> <p>13. Rotación II Trabajo y potencia de rotación para un cuerpo rígido.</p> <p>14. Oscilaciones</p> <p>15. Fluidos</p> <p>16. Temperatura y transferencia de calor</p> <p>17. Primera ley de la termodinámica</p> <p>18. Teoría cinética de los gases</p> <p>19. Segunda ley de la termodinámica</p>	<p>su conservación. La ley de la conservación de la energía 1. Conservación de la energía con fuerzas disipativas. Energía potencial gravitacional y velocidad de escape. Potencia. Diagramas de energía potencial. Equilibrio estable e inestable.</p> <p>10. Cantidad de movimiento lineal y colisiones.</p> <p>11. Movimiento rotacional</p> <p>12. Cantidad de movimiento angular: rotación general.</p> <p>12. Equilibrio estático, elasticidad y fractura</p> <p>13. Fluidos</p> <p>14. Oscilaciones</p> <p>15. Movimiento ondulatorio</p> <p>16. Sonido</p> <p>17. Temperatura</p> <p>18. Expansión térmica y ley del gas ideal</p> <p>18. Teoría cinética de los gases</p> <p>19. Calor y la primera ley de la Termodinámica</p> <p>20. Segunda ley de la termodinámica</p>	<p>satélites</p> <p>11. La naturaleza atómica de la materia</p> <p>12. Sólidos</p> <p>13. Líquidos</p> <p>14. Gases y plasmas</p> <p>15. Temperatura calor y expansión</p> <p>16. Transferencia de calor</p> <p>17. Cambio de fase</p> <p>18. Termodinámica</p> <p>19. Vibraciones y ondas</p> <p>20. Sonido</p> <p>21. Sonidos musicales</p> <p>22. Electrostática</p> <p>23. Corriente eléctrica</p> <p>24. Magnetismo</p> <p>25. Inducción electromagnética</p> <p>26. Propiedades de la luz</p> <p>27. Color</p> <p>28. Reflexión y refracción</p> <p>29. Ondas luminosas</p> <p>30. Emisión de la luz</p> <p>31. Cuantos de luz</p> <p>32. El átomo y el cuanto</p> <p>33. El núcleo atómico y la radiactividad</p>	<p>energía mecánica en el movimiento rotacional</p> <p>Sistemas conservativos.</p> <p>13. Conservación de la energía</p> <p>Trabajo realizado sobre un sistema por fuerzas externas. Energía interna de un sistema de partículas. Trabajo de fricción. Conservación de la energía de un sistema de partículas. Energía del centro de masa. Reacciones y desintegraciones. Transferencia de energía por calor.</p> <p>14. Gravitación</p> <p>15. Estática de fluidos</p> <p>16. Dinámica de fluidos</p> <p>17. Oscilaciones ondulatorio</p> <p>18. Movimiento ondulatorio</p> <p>19. Ondas sonoras</p> <p>20. Teoría Especial de la Relatividad</p> <p>21. Temperatura</p> <p>22. Propiedades moleculares de los gases.</p> <p>23. La primera ley de la Termodinámica</p> <p>24. Entropía y segunda ley de la termodinámica</p>	<p>Situaciones que incluyen fricción cinética. Cambios en energía mecánica para fuerzas no conservativas. Potencia.</p> <p>9. Cantidad de movimiento lineal y colisiones</p> <p>10. Rotación de un objeto rígido alrededor de un eje fijo</p> <p>11. Cantidad de movimiento angular</p> <p>12. Equilibrio estático y elasticidad</p> <p>13. Gravitación universal</p> <p>14. Mecánica de fluidos</p> <p>15. Movimiento oscilatorio</p> <p>16. Movimiento ondulatorio</p> <p>17. Ondas sonoras</p> <p>18. Sobreposición y ondas estacionarias</p> <p>19. Temperatura</p> <p>20. Teoría cinética de los gases</p> <p>21. Máquinas térmicas, entropía y segunda ley de la Termodinámica</p>	<p>Mecánica Newtoniana y relatividad. Cuantización de la energía.</p> <p>8. Sistemas de partículas y conservación del momento lineal</p> <p>9. Rotación</p> <p>10. Conservación del momento angular</p> <p>11. Gravedad</p> <p>12. Equilibrio estático y elasticidad</p> <p>13. Fluidos</p> <p>14. Oscilaciones</p> <p>15. Movimiento ondulatorio</p> <p>16. Superposición y ondas estacionarias</p> <p>17. Temperatura</p> <p>18. Calor y primer principio de la Termodinámica</p> <p>19. Segundo principio de la termodinámica</p>	<p>17. Cantidad de calor</p> <p>18. Transferencia de calor</p> <p>19. Propiedades térmicas de la materia</p> <p>20. Termodinámica</p> <p>21. Movimiento ondulatorio</p> <p>22. Sonido</p> <p>23. La fuerza eléctrica</p> <p>24. El campo eléctrico</p> <p>25. Potencial eléctrico</p> <p>26. Capacitancia</p> <p>27. Corriente y resistencia</p> <p>28. Circuitos de corriente continua</p> <p>29. Magnetismo y campo magnético</p> <p>30. Fuerzas y momentos de torsión en un campo magnético</p> <p>31. Inducción electromagnética.</p> <p>32. Circuitos de corriente alterna</p> <p>33. Luz e iluminación</p> <p>34. Reflexión y espejos</p> <p>35. Refracción</p> <p>36. Lentes e instrumentos ópticos</p> <p>37. Interferencia, difracción y polarización</p> <p>38. La física moderna y el átomo</p> <p>39. La física nuclear y el núcleo</p>	<p>Termodinámica</p> <p>13. Vibraciones</p> <p>14. Sonido</p> <p>15. Cargas, fuerzas y campos eléctricos</p> <p>16. Potencial eléctrico, energía y capacitancia</p> <p>17. Corriente eléctrica y resistencia</p> <p>18. Circuitos eléctricos básicos</p> <p>19. Magnetismo</p> <p>20. Inducción y ondas electromagnéticas</p> <p>21. Circuitos de corriente alterna</p> <p>22. Reflexión y refracción de la luz</p> <p>23. Espejos y lentes</p> <p>24. Óptica física: la naturaleza ondulatoria de la luz</p> <p>25. La visión y los instrumentos ópticos</p>	<p>9. Rotación de cuerpos rígidos.</p> <p>10. Dinámica del movimiento rotacional.</p> <p>11. Equilibrio y elasticidad.</p> <p>12. Gravitación.</p> <p>13. Movimiento periódico.</p> <p>14. Mecánica de fluidos.</p> <p>16. Sonido y el oído.</p> <p>17. Temperatura y calor.</p> <p>18. Propiedades térmicas de la materia.</p> <p>19. La primera ley de la termodinámica</p> <p>20. La segunda ley de la termodinámica</p>
--	--	--	--	--	---	--	--	---	--

