

# 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

**Simplifying hypotheses that may hinder the understanding of the mechanics in the university initial cycle: the treatment in textbooks of cords with massless and inextensible properties**

**Luis Marino<sup>1</sup>, Silvia Giorgi<sup>2</sup>, Cristina Cámara<sup>2,3</sup>, Ricardo Carreri<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> *Facultad de Humanidades y Ciencias. Ciudad Universitaria. Paraje El Pozo. 3000. Santa Fe. Argentina.*

<sup>2</sup> *Facultad de Ingeniería Química. Universidad Nacional del Litoral. Santiago del Estero 2829. 3000. Santa Fe. Argentina*

<sup>3</sup> *Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional del Litoral. 86-Kreder 2805. 3080HOF. Esperanza. Santa Fe. Argentina.*

**E-mail:** lmarino@fiq.unl.edu.ar

## Resumen

Se presenta un estudio descriptivo sobre el tratamiento que los autores de los libros de texto, con cálculo, más usados en el ciclo inicial universitario de carreras científico-tecnológicas, realizan sobre las simplificaciones que se efectúan para facilitar el estudio de la Mecánica. Se abordan aquellas consistentes en considerar a las cuerdas de masas despreciables e inextensibles. En particular, se investiga si se explican adecuadamente las consecuencias físicas que se derivan de las mismas. Son numerosos los sistemas físicos que se presentan como ejemplos al introducir los contenidos de Mecánica en los que intervienen cuerdas, sin embargo, se encontró que pocos autores desarrollan explicaciones que aclaren el comportamiento de las mismas al aplicar las leyes de Newton y que expliquen condiciones sobre su movimiento. Esto puede convertirse en un obstáculo para la conceptualización de las leyes y relaciones físicas básicas por parte de los estudiantes. Se señalan algunas cuestiones que los docentes deberían trabajar con los alumnos a través de distintas estrategias didácticas, si se busca que los estudiantes aprendan significativamente los conceptos de mecánica.

**Palabras claves:** Física; Libros de Texto; Mecánica; Hipótesis simplificadoras; Hilos o cuerdas.

## Abstract

This work presents a descriptive study about the treatment that authors of different textbooks with calculation, and which are most frequently used in the university initial cycle of scientific and technological careers, performed on the simplifying hypotheses made to ease the study of Mechanics. Among those hypotheses, those consisting in characterizing cords or ropes, by describing them as massless and with inextensible properties, were considered. In particular, the present research inquires whether the physical consequences derived from them are properly explained. Many physical systems are presented as examples to introduce the contents of Mechanics that involve cords, however, only a few authors who developed explanations that clarify their physical behavior were found. This is not considered encouraging for students when it comes to conceptualizing laws and physical relations in order to apply them in solving problems. In this work, some issues that the teachers should work with students by applying different didactic strategies are recommended, if the aim is to help students to significantly learn the mechanical concepts.

**Keywords:** Physics; Textbooks; Mechanical; Simplifying hypotheses; Wires or cords.

## I. INTRODUCCIÓN

Los desarrollos que presentan algunos autores de libros de texto (LT) al abordar las leyes de Newton, no siempre se reflexiona sobre las simplificaciones que se realizan al modelar sistemas físicos, lo cual puede significar un obstáculo para el aprendizaje. Es así que, cuando se abordan situaciones problemáticas que involucran sistemas en los que intervienen cuerdas (cuerpos vinculados, poleas, etc.), los estudiantes, y a veces también los docentes, traducen el comportamiento de las mismas a relaciones y/o ecuaciones que plantean “por decreto” sin profundizar adecuadamente lo que sucede en las cuerdas desde el punto de vista físico. Si bien con las simplificaciones que se realizan, se espera que las situaciones problemáticas sean más sencillas, se sostiene que si los estudiantes no comprenden las derivaciones físicas que se desprenden de las mismas, en lugar de facilitar el aprendizaje lo obstaculiza, derivando en dificultades conceptuales en los estudiantes para relacionar la dinámica entre los distintos cuerpos vinculados a través de cuerdas que conforman un sistema físico bajo estudio.

Se planteó investigar si el tratamiento que se presenta en los LT acerca del comportamiento de cuerdas, formando parte de sistemas físicos sencillos, promueve en los estudiantes el aprendizaje significativo de los conceptos, y sus relaciones, en lo atinente a la descripción dinámica de dichos sistemas. Concretamente se investigó, por un lado, si los autores de los LT explicitan en palabras las simplificaciones a las que refiere este estudio, y por otro, si muestran el diagrama del cuerpo aislado para las cuerdas, evidenciando que a partir de la segunda ley de Newton, la fuerza neta actuante sobre la misma es nula si su masa se considera despreciable. También se indagó si los autores de LT mencionan que, de considerar a un tramo de cuerda inextensible, los módulos de la velocidad y de la aceleración tangencial son los mismos en todos los puntos de la cuerda. Para ello se propuso analizar libros de Física, en particular, los capítulos correspondientes a los temas introductorios de Dinámica de la partícula.

Se encontró que en los LT que forman parte de la muestra analizada, algunos autores se detienen debidamente en las descripciones de las simplificaciones que proponen para facilitar el estudio de situaciones en las que se vinculan cuerpos mediante cuerdas, y por lo tanto son referenciadas en los ejemplos presentados, y otros por el contrario no las abordan.

Las cuerdas forman parte de un número apreciable de ejemplos y problemas presentados en los primeros capítulos de Mecánica; generalmente se las modela como sistemas de masas despreciables e inextensibles. La cuestión que se plantea en este trabajo es: ¿se explican adecuadamente, en los LT que se recomiendan a los estudiantes del ciclo básico universitario, las derivaciones físicas que se desprenden de dichas suposiciones?

Se sostiene que en los temas introductorios de Mecánica, es dificultoso para los estudiantes establecer nexos entre las simplificaciones que se proponen para el estudio de ciertos sistemas físicos, y las leyes y principios que plantean. A partir del análisis de los resultados que se presentan en este trabajo, surgen consideraciones, por un lado, sobre el significado poco claro que los estudiantes podrían construir acerca del modelado de las cuerdas, cuando basan su aprendizaje estudiando a partir de algunos de los libros de texto analizados, y por otro, acerca de la necesidad de diseñar materiales didácticos que involucren el tratamiento físico particular de las cuerdas, formando parte de sistemas físicos más complejos, consideradas inextensibles y de masas despreciables, cuando se aplican las leyes de la Mecánica, si se busca que el estudiante aborde situaciones problemáticas habiendo aprendido significativamente.

## II. MARCO TEÓRICO Y OBJETIVOS

La estructuración de verdaderos ambientes de aprendizaje con el uso de materiales de enseñanza adecuados requiere de marcos referenciales sustentados desde los campos disciplinar y de la didáctica en permanente retro-alimentación. Entre los materiales que forman parte de las estrategias didácticas que diseñan los docentes se encuentran los LT, los cuales se consideran herramientas fundamentales en la instrucción.

Con relación a los materiales educativos, es de destacar que en la actualidad existe una gran cantidad de los mismos disponible en la red, sin embargo, la calidad de estos materiales no siempre está garantizada (Bouciguez y Santos, 2010). El LT sigue siendo aún uno de los referentes más sólidos para aprender y es considerado una herramienta poderosa en las clases de ciencias (Otero, 1990). No obstante, se asume, como lo hacen otros investigadores, que en algunas ocasiones las explicaciones que los autores de los LT presentan no son lo suficientemente claras, y a veces ambiguas, como para que sean comprendidas por parte de estudiantes que se inician en el estudio de los fenómenos físicos.

Marino y otros (2015) encontraron, en su trabajo sobre once LT con cálculo, que en el tratamiento del movimiento oscilatorio armónico la frecuencia angular es presentada ambiguamente. Por un lado, como una magnitud que depende de características de la acción restauradora e inerciales del sistema, y por otro como la velocidad angular de un movimiento circular uniforme que se proyecta sobre un eje cartesiano. Forjan y Sliško (2014) presentan los resultados de un análisis de tres LT de física, de escuela secundaria, desde el punto de vista de simplificaciones e idealizaciones en el campo de la Mecánica. La revisión

muestra que en dos LT más de la mitad de las simplificaciones analizadas no son presentadas correctamente. Pocoví y Hoyos (2011), en su investigación acerca de la corriente de desplazamiento en LT, encontraron que las explicaciones presentadas en el sistema lingüístico son en su mayoría carentes de precisión y confusas. King (2010) en su trabajo sobre LT de secundaria que abordan temas relacionados con Ciencias de la Tierra señalan que los errores que cometen los estudiantes universitarios y los profesores de ciencias, a menudo también se encuentran en los materiales publicados, por lo que es probable que refuerzan los conceptos erróneos en los mismos. Catalán y otros (2009) en su trabajo sobre los LT usados por alumnos para el aprendizaje del campo conceptual de la inducción electromagnética, recomiendan que en la redacción de los mismos se expliciten con mayor claridad las condiciones de trabajo o límites de validez de los modelos científicos que se presentan y se insista en la decodificación de las distintas representaciones simbólicas que los expresan. Por su parte, Giacosa y otros (2015) en su estudio sobre el tratamiento de circuitos resistivo-inductivos en doce LT, encontraron que en la mayoría de los mismos el modelado de los circuitos como sistemas aislados se hace de manera implícita.

Con relación a lo expresado, se sostiene que es importante analizar si los contenidos de Física son presentados de manera clara y precisa por los autores de los LT que se recomiendan a los estudiantes para abordar ciertos contenidos de Mecánica básica. Esto resulta decisivo y fundamental, tanto en la selección de los materiales de apoyo que se proponen, como en las clases, si se busca que el alumno aprenda significativamente.

Este trabajo persigue los siguientes objetivos con relación a los LT:

- Detectar aquellas situaciones presentadas a modo de ejemplos, ejercicios y problemas propuestos en los capítulos relativos a Dinámica de la partícula, Trabajo y Energía, que tratan sobre sistemas físicos formados por cuerpos vinculados mediante cuerdas.
- Identificar si los autores de los LT formulan hipótesis sobre el modelado que realizan de las cuerdas.
- Examinar en los LT las implicancias físicas que destacan los autores acerca de considerar a las cuerdas con masas despreciables e inextensibles.

Se parte de la hipótesis que el desarrollo que presentan los LT de Mecánica en los capítulos introductorios, relacionados al modelado de los sistemas físicos, es escaso y a veces confuso para los estudiantes, lo cual dificulta el aprendizaje.

### III. METODOLOGÍA

La metodología empleada para lograr los propósitos de este estudio, de carácter descriptivo, se enmarca en el paradigma de la investigación cualitativa (Samaja, 1994). Se llevó a cabo un estudio de casos (Concari, 2002). Se trabajó con una muestra intencional de once LT (Samaja, 1994) todos ellos considerados como materiales bibliográficos de cabecera en la asignatura Física de las carreras de la UNL donde se abordan contenidos de Mecánica. Se seleccionaron los libros de Mecánica a nivel universitario básico más usados en Argentina que desarrollan contenidos de Física con cálculo diferencial e integral al menos en una variable (Giorgi y otros, 2014). En la Tabla 1 se presentan los LT analizados, ordenados alfabéticamente.

**TABLA I.** Libros de textos analizados.

Alonso, M. y Finn, E. (1986). <i>Física</i> . México: Addison Wesley Iberoamericana.
Bueche, F. (1992). <i>Física para estudiantes de Ciencias e Ingeniería</i> , cuarta edición. México: McGraw Hill.
Cussó, F.; López, C. y Villar, R. (2004). <i>Física de los procesos biológicos</i> . Barcelona: Ariel.
Gettys, W.; Keller, F. y Skove, M. (1991). <i>Física Clásica y Moderna</i> . Madrid: McGraw Hill.
Ingard, U. y Kraushaar, W. (1984). <i>Introducción al estudio de la mecánica, materia y ondas</i> . Argentina: Reverté.
McKelvey, J. y Groth, H. (1980). <i>Física para ciencias e ingeniería; Volumen 1</i> . México: Harla.
Resnick, R.; Halliday, D. y Krane, K. (2006). <i>Física</i> , volumen I. México: CECSA.
Roederer, J. (2011). <i>Mecánica elemental</i> . Argentina: Eudeba.
Sears, F.; Zemansky, M.; Young, H. y Fredman, R. (2009). <i>Física universitaria</i> , vol. 1, 12 <sup>va</sup> edición. México: Pearson Educación.
Serway, R. y Jewett, J. (2008). <i>Física para ciencias e ingeniería</i> , vol. 1, 7 <sup>ma</sup> edición. México: Cengage Learning.
Tipler P. y Mosca, G. (2005). <i>Física para la ciencia y la tecnología</i> , vol. 1, 5 <sup>ta</sup> edición. Barcelona: Reverté.

Se realizó un análisis de contenido (Bardin, 1996) de los capítulos correspondientes a Dinámica de sistemas físicos puntuales, en particular, de las secciones del LT en las que se presentan situaciones sobre sistemas físicos en los que intervienen cuerdas. Se indagó acerca de cómo se modelan a las mismas, y las alusiones a dichos modelos en los ejemplos resueltos y en los problemas propuestos.

#### IV. RESULTADOS

En el Anexo se transcribe una síntesis del análisis realizado para cada LT que conforma la muestra. Los resultados encontrados acerca del carácter inextensible que es atribuido a las cuerdas por los autores de los LT analizados, y las explicaciones que se presentan acerca de las derivaciones físicas de dicha simplificación se muestran en la Tabla II.

**TABLA II:** Aspectos sobre la manera en que se presenta la simplificación de cuerda inextensible en los capítulos correspondientes a Dinámica de la partícula, en los libros de texto analizados

Autores del libro de texto	Se explicita la hipótesis de cuerda inextensible	Se explican las derivaciones físicas de suponer la cuerda inextensible
Alonso y Finn	Sí	Sí
Bueche	Sí	No
Cussó, López y Villar	Sí	Sí
Gettys, Keller y Skove	No	No
Ingard y Kraushaar	No	No
McKelvey y Grotch	Sí	Sí
Resnick, Halliday y Krane	Sí	Sí
Roederer	No	No
Sears, Zemansky, Young y Fredman	Sí	Sí
Serway y Jewett	Sí	Sí
Tipler y Mosca	Sí	Sí

De la tabla II, se desprende que la mayoría de los LT analizados (8/11), explicita la suposición de cuerda inextensible y en 7 de los mismos se exponen adecuadas explicaciones acerca de las derivaciones físicas de tal simplificación. Ejemplos de dichas explicaciones pueden encontrarse en la cita del LT de Sears y otros (2009), pág. 148:

*Si bien las direcciones de las dos aceleraciones son distintas, sus magnitudes son iguales. Ello se debe a que el cordón no se estira; por lo tanto, los dos cuerpos deberán avanzar distancias iguales en tiempos iguales, y así sus rapidezces en cualquier instante dado deberán ser iguales.*

O en la del LT de Serway y Jewett (2008), pág. 118:

*Puesto que los objetos están conectados mediante una cuerda inextensible, sus aceleraciones son de igual magnitud.*

Del análisis realizado, con respecto a la consideración de cuerdas con masa despreciable, se desprenden los resultados que se muestran en la Tabla III. En la misma se observa que, si bien en todos los LT se menciona esta hipótesis simplificadora, en 5 de los 11 LT analizados se explican las derivaciones físicas de la misma, y sólo en 4 se presenta el diagrama del cuerpo aislado de la cuerda, a partir del cual el estudiante podría conceptualizar a través de las leyes de Newton por qué suponer que la masa de la cuerda es despreciable, implica que la resultante de las fuerzas aplicadas a una cuerda es nula, y de esta manera relacionar esta condición con el análisis dinámico de los otros componentes (cuerpos, poleas) que forman parte del sistema físico.

**TABLA III:** Aspectos sobre la manera en que se presenta la simplificación de cuerda de masa despreciable en el capítulo correspondiente a Dinámica de la partícula, en los libros de texto analizados.

Autores de los libros analizados	Se menciona la hipótesis de cuerda de masa despreciable	Se explican las derivaciones físicas de suponer la cuerda de masa despreciable	Se explicita el diagrama del cuerpo aislado de la cuerda
Alonso y Finn	No	No	No
Bueche	Sí	No	No
Cussó, López y Villar	Sí	No	No
Gettys, Keller y Skove	Sí	No	No
Ingard y Kraushaar	Sí	Sí	No
McKelvey y Grotch	Sí	Sí	Sí
Resnick, Halliday y Krane	Sí	Sí	Sí

Autores de los libros analizados	Se menciona la hipótesis de cuerda de masa despreciable	Se explican las derivaciones físicas de suponer la cuerda de masa despreciable	Se explicita el diagrama del cuerpo aislado de la cuerda
Roederer	Sí	No	No
Sears, Zemansky, Young y Fredman	Sí	Sí	Sí
Serway y Jewett	Sí	No	No
Tipler y Mosca	Sí	Sí	Sí

Se destacan los LT cuyos autores son: McKelvey y Grotch; Resnick, Halliday y Krane; Sears, Zemansky, Young y Fredman; Tipler y Mosca, en los que se presenta el diagrama del cuerpo aislado de la cuerda y se explican las consecuencias dinámicas de suponerla de masa despreciable.

Se señala que el análisis del tratamiento de las cuerdas en los capítulos dedicados a Energía no se muestra en el presente trabajo por razones de espacio. No obstante, se informa que en ninguno de los LT analizados se explicitan consideraciones acerca del papel que juegan las cuerdas en las transformaciones energéticas de los sistemas físicos que se presentan.

## V. CONCLUSIONES

Durante el abordaje de los contenidos de Física, muchas son las idealizaciones que se realizan en la enseñanza con la finalidad de facilitar la comprensión de los mismos por parte de los estudiantes. En el caso de cuerdas de masa despreciable pocos autores de LT explicitan el simple hecho de que la cuerda no podría soportar una fuerza actuante neta distinta de cero; y en el caso de considerarla inextensible, no todos los autores señalan que los módulos de la velocidad y de la aceleración no deberían variar a lo largo de la cuerda ya que no existe movimiento relativo entre los puntos de la misma.

Se sostiene que algunas de dichas simplificaciones, cuando no son debidamente aclaradas, más que facilitar, obstaculizan la conceptualización de las relaciones y principios básicos, que se espera que los estudiantes logren mediante el estudio de Física introductoria.

Un aspecto a destacar, alcanzado en este trabajo es que los docentes deberían hacer una cuidadosa selección de los LT que recomiendan a sus estudiantes. También los mismos pueden contribuir a remediar parte de la problemática abordada diseñando materiales didácticos y actividades que favorecen la comprensión (Ledezma y Pocoví, 2013) que involucren el análisis dinámico de las cuerdas en particular, enfatizando en sus clases las aclaraciones necesarias sobre las simplificaciones que se realizan. De esta manera, a partir de la clara comprensión por parte de los estudiantes de las consecuencias físicas que se derivan de las simplificaciones estudiadas, es de esperar que los mismos se encuentren en mejores condiciones para establecer nexos entre los modelos que usan al abordar situaciones problemáticas y cómo aplican los principios y leyes en las mismas.

## AGRADECIMIENTOS

Se agradece a la UNL por el apoyo para la realización de este trabajo en el marco de los proyectos CAI+D 2011 códigos: 50120110100098LI y 50120110100270LI.

## REFERENCIAS

- Bardin, L. (1996). *El análisis de contenido*. Madrid: Akal.
- Bouciguez, M. y Santos, G. (2010). Applets en la enseñanza de la física: un análisis de las características tecnológicas y disciplinares. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de la Ciencias*, 7(1), 56-74.
- Catalán, L., Caballero Sahelices, C. y Moreira, M. (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.
- Concari, S. (2002). El enfoque interpretativo en la investigación en educación en ciencias. *Revista Ensaio: Avaliação e Políticas Públicas em Educação*, 10(36), 315-330.

Forjan, M. y Sliško, J. (2014). Simplifications and idealizations in high school physics in Mechanics: a study of Slovenian curriculum and textbooks. *European J. of Physics Education*, 5(3), 20-31.

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. *Cuaderno Brasileiro de Ensino de Física*. 32(3), 640 - 662.

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(Nº Extra, Dic.), 145-156.

King, C. (2010). An analysis of misconceptions in science textbooks: Earth science in England and Wales. *International Journal of Science Education*, 32(5), 565-601.

Ledesma, L. y Pocoví M. C. (2013). Ontología del concepto de aceleración: su comprensión mediante el aprendizaje a partir de textos. *Latin American Journal of Physics Education*, 7(1), 68-78.

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(Nº Extra, Nov.), 79-87.

Otero, J. (1990). Variables cognitivas y metacognitivas en la comprensión de textos científicos: el papel de los esquemas y el control de la propia comprensión. *Enseñanza de las Ciencias*, 8(1), 17-22.

Pocoví, M. y Hoyos, E. (2011). Corriente de desplazamiento: su presentación en textos y su comprensión por parte de los estudiantes. *Enseñanza de las Ciencias*, 29(2), 275-288.

Samaja, J. (1994) *Epistemología y Metodología*. Argentina: EUDEBA.

## ANEXO

En los párrafos siguientes se transcribe una síntesis del análisis realizado para cada libro de texto que conforma la muestra. Los libros se ordenaron alfabéticamente según el apellido del primer autor.

**Alonso y Finn. Capítulo 7:** Dinámica de la partícula. En la pág. 169 se presenta el ejemplo de una rueda por la que pasa una cuerda con dos masas  $m$  y  $m'$ . Con respecto a la cuerda, se menciona que es inextensible por lo que las masas se mueven con la “*misma*” aceleración  $a$ , sin aclarar que se refiere al módulo. En cuanto a las fuerzas se menciona: “*las fuerzas iguales y opuestas que ejercen las masas entre sí*” lo cual puede generar confusión ya que en el único diagrama de fuerzas que se presenta, estas dos fuerzas tienen igual dirección y sentido. En el desarrollo de este ejemplo se notan las siguientes falencias que pueden llevar a una interpretación confusa: no se realiza diagrama de cuerpo aislado de la cuerda y la rueda y, no se aclara, que la cuerda no desliza respecto de la rueda, ni que es de masa despreciable. En los problemas propuestos al final del capítulo, en los que intervienen cuerdas, no se menciona ninguna aclaración simplificadora.

**Bueche. Capítulo 3:** Cuerpos en reposo. 3.1: Primera condición de equilibrio. En la pág. 36 se presentan tres casos de cuerpos sujetos a cuerdas de los cuales se muestra el diagrama del cuerpo libre del objeto. El primero consiste en un cuerpo que cuelga del techo sujeto a una cuerda, se señala que la “tensión de una cuerda” significa la fuerza ejercida por la cuerda sobre el objeto al cual está atada. En ninguno de estos casos se analiza a las cuerdas ni se mencionan propiedades de las mismas. En la pág. 38, al abordar una situación consistente en un cuerpo que cuelga de un sistema de cuerdas con dos nudos, se señala que la tensión a lo largo de una cuerda tiene un único valor y se aclara que si la cuerda fuera muy pesada esto no sería cierto, por lo que se le asigna un peso despreciable. No se analiza lo que le ocurre al hilo en particular. En las páginas 42, 43 y 45 se muestran sistemas en los que intervienen cuerdas y en los diagramas se dibujan las tensiones actuando sobre los cuerpos a lo largo de las direcciones de las mismas. No se indican propiedades de las cuerdas. En el problema 2 de la pág. 45 se trata el caso de una cuerda con peso, se alude a la resistencia del material de la cuerda haciendo referencia a la tensión que puede soportar. **Capítulo 5:** Las leyes del movimiento. 5.3: Aplicaciones de la segunda ley. En las páginas 71, 73, 75 y 76 se muestran sistemas físicos en los que intervienen cuerdas. Sólo se indica que las mismas ejercen las fuerzas de tensión sobre los cuerpos. En ninguno de los ejemplos resueltos presentados se aísla el hilo para su análisis dinámico.

**Cussó, López y Villar. Capítulo 3:** Fuerzas elementales y derivadas. Entornos con fricción. Se introduce el concepto de fuerza de contacto, generadas por las interacciones moleculares originadas en la superficie de contacto entre dos cuerpos. Estas fuerzas “*se aplican en los puntos de la superficie de contacto entre los cuerpos*” (pág.141 y pág.142). En un cuerpo que cuelga en “reposo” de una cuerda (Fig. 3.14 a, pág. 143) el peso del cuerpo tira la cuerda hacia abajo y es contrarrestado por una fuerza de contacto entre la cuerda y el cuerpo, esta fuerza se transmite por las fuerzas de interacción entre las moléculas de la cuerda hasta su punto de inserción en el techo y evitan que su longitud se modifique (concepto de cuerda inextensible). Si la fuerza de contacto requerida a la cuerda inextensible supera su límite de rotura, se rompe. En el diagrama de fuerzas que actúan sobre el cuerpo (Figuras 3.14 a y c, pág. 143) no aparece el peso de la cuerda. Si el cuerpo y la cuerda se mueven hacia abajo con una aceleración  $a < g$ , la fuerza de contacto no contrarresta totalmente el peso del cuerpo (Fig. 3.14 b, pág. 143) -concepto implícito de cuerda extensible-. Si el extremo de la cuerda está inserto en una posición fija, y se halla acelerada, su longitud deberá variar (se ejemplifica la cuerda con una goma). En los diagramas de las Fig. 3.14 (pág. 143) se dibuja el conjunto techo-cuerda-cuerpo, y se representan las fuerzas actuantes sólo sobre el cuerpo (tensión y peso). En un ejemplo concreto (Fig. 3.15, pág. 143) se menciona que “*como la cuerda no se rompe, ni se estira, la tensión es transmitida a lo largo de todos sus puntos y es la misma en los dos extremos*”. Aquí se detectan dos falencias, no se aclara que la cuerda es de masa despreciable, ni que en realidad son iguales “los módulos” de las tensiones en los extremos. En la Fig. 3.15 se grafican en los extremos de la cuerda, la tensión con el mismo módulo e incluso se identifican con la misma letra. En las ecuaciones de la pág. 144 se supone que la masa de la cuerda es cero y que los módulos de las tensiones que las cuerdas ejercen en sus extremos sobre los cuerpos vinculados son iguales.

**Gettys, Keller y Skove. Capítulo 5:** Leyes de Newton para el movimiento. 5.7: Resolución de problemas de mecánica, Ejemplo 5.7. Tensión en una cuerda (pág. 103). Se menciona que el peso de la cuerda es mucho menor que la fuerza que la misma pueda ejercer. “*Cuando una cuerda (o un cable) está unida a un objeto, el módulo de la fuerza ejercida por la cuerda se denomina Tensión de la cuerda*”. No se aísla la cuerda para estudiar su comportamiento dinámico, lo mismo ocurre con el ejemplo resuelto de

la pág. 105. En las preguntas de pág. 110 se menciona que las cuerdas son de masa despreciable. En la Sección 5.7. Resolución de problemas de mecánica (pág. 113) se presentan ejercicios en los que intervienen cuerdas refiriendo sólo en alguno de los mismos, como en el ejercicio 5.37, a “*cuerda fina y ligera*”. **Capítulo 6:** Aplicaciones de las leyes de Newton para el movimiento (páginas 118 a 140), no se aíslan las cuerdas para su estudio dinámico.

**Ingard Kraushaar. Capítulo 3:** Cantidad de movimiento y fuerza I. “*Hilo flexible: En nuestros estudios hallamos conveniente, frecuentemente, el ejercer fuerzas sobre cuerpos mediante hilos flexibles. Un hilo flexible ideal puede ejercer sólo tracción, nunca empuje, y la dirección de la fuerza del hilo es siempre la de él. Puede cambiarse la dirección de la fuerza del hilo, haciéndolo pasar por la garganta de una polea sin rozamiento. La magnitud de la fuerza ejercida por un hilo recibe frecuentemente el nombre de tensión. Luego, si dos muchachos en reposo tiran de los dos extremos de una cuerda con fuerzas de 50 N cada uno, la cuerda ejerce sobre cada muchacho una fuerza de 50 N y la tensión en la cuerda es de 50 N. Intercalando un dinamómetro en un punto cualquiera de la cuerda, indicaría esta tensión de 50 N. En la mayoría de los casos que estudiemos, la masa del hilo será mucho menor que las masas de los cuerpos sujetos a sus extremos. En estas condiciones puede despreciarse la masa del hilo y suponer que las fuerzas que ejerce sobre sus dos extremos son iguales y opuestas, aun cuando el hilo pueda estar acelerado*” (pág. 87). En el ejemplo: Experimentos de aceleración de la pág. 88, se presenta un sistema en el que interviene un hilo que sólo se menciona que es flexible. En los problemas propuestos números: 3-30 a 3-34 intervienen cuerdas y sólo se indica que las cuerdas son sin masa en el 3-30 y 3-33.

**McKelvey y Grotch. Capítulo 2:** Leyes de Newton: Fuerzas y Momento de Fuerza en equilibrio. 2.5 Fuerzas de acción y reacción: Tercera ley de Newton. En la pág. 36 se analiza “*la cuerda como sistema aislado sujeto a determinadas fuerzas*.” En la Figura 2.7c (pág. 36) se presenta el diagrama de cuerpo libre de la cuerda, se aplican las ecuaciones al mismo y se afirma que: “*Sin embargo, con mucha frecuencia la cuerda es tan ligera que su peso es despreciable en comparación con las otras fuerzas del sistema*” (pág. 37). Se indica también que “*A veces  $T$  y  $T$  que actúan en los extremos de la cuerda se expresan como fuerzas de acción y reacción, lo que claramente no es cierto; primero que todo, actúan sobre el mismo cuerpo en vez de sobre distintos cuerpos, además según la ecuación (2.5.13) en general no siempre son exactamente iguales.*” (pág. 36). **Capítulo 4:** Segunda ley de Newton y dinámica de la traslación. 4.2 Aplicación de la segunda ley de Newton a sistemas de fuerzas. En el Ej. 4.2.4 se analiza el caso de una masa que se suspende de una cuerda pesada y flexible, pero inextensible. Se dibuja el diagrama de cuerpo libre (Fig. 4.2.b, pág. 126) y se encuentra una ecuación diferencial, en la que aparece la densidad lineal de la cuerda y el largo de la misma; se integra suponiendo que la aceleración en los distintos puntos es constante (esto implícitamente es posible porque en el enunciado se propuso que la cuerda es inextensible). Analizando el cuerpo, se llega a que en el extremo superior de la cuerda:  $T(L) = (g+a).(M+u.L)$  - Ec. 4.2.11, pág. 127-. En esta ecuación se observa que si  $u.L \ll M$ ,  $T(L) \sim T(0)$ . Es decir, que estando acelerada la cuerda, bajo las hipótesis de masa despreciable y adicionalmente cuerda inextensible (el valor de  $a$  es el mismo para cualquier valor de  $z$ ) la tensión se transmite de un extremo al otro de la misma. Esta segunda hipótesis parece no ser aclarada por los autores que manifiestan “*A menos que se especifique lo contrario...se supondrá que las masas de las cuerdas del sistema que se investiga son mucho menores que las masas que unen o conectan, lo que permite considerar que las tensiones en las cuerdas de conexión son iguales en todas partes*” (pág. 128). En el Ej. 4.2.7: Máquina de Atwood, (pág. 129), con  $m < M$ , se aclara que: “*Como la cuerda es inextensible,  $m$  debe ascender con la misma rapidez que  $M$  desciende, pues de lo contrario la cuerda se alargaría o acortaría. Pero si las velocidades de  $m$  y  $M$  son iguales en todo momento, también lo serán sus aceleraciones*”.

**Resnick, Halliday Krane. Capítulo 5:** Aplicaciones de las leyes de Newton. Apartado 5.2: Tensión y Fuerzas Normales. En la Fig. 5.1a (pág. 90), se ilustra un trabajador arrastrando horizontalmente una caja mediante una cuerda. Se supone que “*la cuerda es muy delgada, de modo que la tensión siempre opera en dirección a ella*”. Además se supone que “*posee masa despreciable*”, por lo cual, y de acuerdo a la segunda ley de Newton, la fuerza que ejerce el trabajador y la tensión que la cuerda ejerce sobre la caja son de igual modulo; esto se grafica en el diagrama de cuerpo libre de la cuerda (Fig. 5.1b, pág. 90), en el cual la misma se representa por un punto. En la Fig. 5.2 (pág. 90) se representa un trabajador que arrastra horizontalmente, por medio de una cuerda, dos cajas vinculadas a través de una segunda cuerda. Como hipótesis adicional se supone que “*tampoco una cuerda ideal se estira*” con lo cual las velocidades de ambas cajas deberán ser iguales, para que su separación se mantenga. “*La fuerza de tensión se produce porque los elementos pequeños de la cuerda tiran del elemento continuo (y a su vez son jalados por él, según la tercera ley de Newton). De este modo, una fuerza que tira de un extremo de la cuerda se transmite a un objeto situado en el otro extremo*”. Esto se ejemplifica en la Fig. 5.3a (pág. 51) en la cual tres



elementos contiguos de cuerda son sometidos a la acción de una tensión  $T$  aplicada en sus extremos. Si se sustituye el elemento central por una báscula de resorte (Fig. 5.3b, pág. 51) la misma indicará una Fuerza igual a  $T$  ya que en sus extremos también actuarán las tensiones  $T$ .

**Roederer. Capítulo 3:** Dinámica del punto material. En la pág. 70 se presenta el ejemplo de un hombre parado en la Tierra tirando un carro a través de lo que en el dibujo sería una cuerda. En su análisis dinámico cualitativo no se hace alusión alguna a la cuerda. En otro ejemplo, consistente en un ascensor que cuelga de un cable que sube a velocidad constante, se menciona que la cabina del ascensor se encuentra en interacción con la Tierra y que debe haber otra interacción que equilibre al peso de la cabina. Se menciona que: “La fuerza de interacción correspondiente (tensión de los cables) debe ser igual y de sentido contrario a la fuerza de interacción gravitatoria (peso de la cabina), para que su acción conjunta sea nula ( $R=0$ )” (pág. 71). En la pág. 93, en el ítem: Movimiento del péndulo ideal, se menciona que “la reacción de vínculo aquí se llama tensión  $T$  del hilo” y no se analiza lo que le ocurre al hilo. **Capítulo 4:** Teoremas de conservación I. En la pág. 147 se desarrolla el ejemplo de “dos individuos de masa exactamente iguales, colgados de sendos cabos de una cuerda (de masa despreciable e inextensible), que pasa por una roldana (de masa despreciable y sin frotamiento) fija al techo. Inicialmente están en reposo (equilibrio). Ahora comienzan a trepar... ¿cuál de los dos llegará primero a la polea?”. En la solución, al referirse a las tensiones se señalan a ambos lados de la polea las tensiones o interacciones elásticas y no hay referencia alguna a lo que ocurre en el hilo.

**Sears, Zemansky, Young, Fredman. Capítulo 4:** Leyes del movimiento de Newton. 4.5 Tercera ley de Newton. Se presenta el ejemplo conceptual 4.10 (pág. 125) en el que se analiza el caso de un picapedrero ( $M$ ) que arrastra un bloque de mármol ( $B$ ) sobre un piso, tirando de una cuerda atada al bloque ( $R$ ). Se aplica la segunda ley de Newton a la cuerda y se señala: “...si la cuerda está acelerando pero tiene masa insignificante en comparación con el bloque o el hombre. En este caso,  $m_{\text{cuerda}} = 0$  en la ecuación anterior y nuevamente.  $\vec{F}_{M\text{sobre}R} = -\vec{F}_{B\text{sobre}R}$ ” (pág. 125). **Capítulo 5:** Aplicación de las leyes de Newton. En el ejemplo 5.1 Equilibrio unidimensional: Tensión en una cuerda sin masa, se plantea el caso de una gimnasta ( $G$ ) que cuelga de una cuerda ( $R$ ) sujeta al techo ( $C$ ). Se dibuja el diagrama de cuerpo libre de la cuerda sin peso y en equilibrio (Fig. 5.1c, pág. 138) resultando que  $\vec{T}_{C\text{sobre}R} = -\vec{T}_{R\text{sobre}G}$ , de modo que en el caso de esta cuerda sin peso, la tensión  $\vec{T}_{C\text{sobre}R}$  sobre el extremo inferior de la cuerda tiene el mismo valor que la tensión  $\vec{T}_{C\text{sobre}R}$  en el extremo superior. Se concluye que “De hecho, en una cuerda ideal sin peso, la tensión tiene el mismo valor en todos los puntos de la cuerda” (pág. 138). En el ejemplo 5.2 (pág. 138), Equilibrio unidimensional: tensión en una cuerda con masa, ahora se considera el peso de la cuerda. Se concluye que para que la cuerda esté en equilibrio la tensión en su extremo superiores diferente a la tensión en su extremo inferior (ya que el techo debe sostener tanto el peso de la gimnasta como el de la cuerda. Se dibuja el diagrama de cuerpo libre de la cuerda (Fig. 5.2b, pág. 139) en el cual se señala que la tensión aplicada en el extremo superior es equilibrada por la suma de las fuerza tensión aplicada en el extremo inferior más el peso de la cuerda. En el Ej. 5.12 (pág. 148): Dos cuerpos con la misma magnitud de aceleración, se analiza el caso de cuerpos vinculados por un hilo que pasa por una pequeña polea sin fricción, uno de los cuerpos se mueve horizontalmente sobre un riel de aire y el otro cae verticalmente, se menciona que el cordón es ligero, flexible e inelástico. Como no hay fricción en la polea, y se considera que el cordón no tiene masa, la tensión  $T$  en el cordón es homogénea. “Si bien las direcciones de las dos aceleraciones (cuerpo y pesa) son distintas, sus magnitudes son iguales. Ello se debe a que el cordón no se estira; por lo tanto, los dos cuerpos deberán avanzar distancias iguales en tiempos iguales, y así sus rapidezces en cualquier instante dado deberán ser iguales”. En la Fig. 5.15 (pág. 148), sobre este ejemplo, no se plantea específicamente el diagrama de cuerpo libre de la cuerda.

**Serway y Jewett. Capítulo 5:** Las leyes del movimiento. En el ejemplo 5.9 (pág. 117): La máquina de Atwood, al conceptualizar el problema se aclara que “Puesto que los objetos están conectados mediante una cuerda inextensible, sus aceleraciones son de igual magnitud” (pág. 118). Esta hipótesis, implícita al conceptualizar los problemas 5.9, 5.10 y siguientes, no se vuelve a plantear. En la Fig. 5.14 del problema de la máquina de Atwood (pág. 117) se indica que la cuerda es “inextensible y sin masa” (pág. 118). En los enunciados de los problemas 5.10, 5.13 y siguientes, se aclara que la cuerda es ligera. No se realiza el diagrama de cuerpo libre de las cuerdas, ni se representa su peso. Su acción se representa en los diagramas de cuerpo libre de los cuerpos que se vinculan a través de las tensiones de igual módulo, aplicadas en los puntos de inserción de la cuerda en los mismos. En las preguntas y problemas al final del capítulo 5, en ciertos casos se emplean términos como “...cuerda, inextensible, tensa y ligera...” (pregunta 18, pág. 126); “...cuerda ligera que no se estira...” (pregunta 20, pág. 126); “Ignore las masas de las poleas y cuerdas...” (problema 23, pág. 130); “...cuerda ligera...” (problema 28, pág. 130); mientras que en otros se omiten directamente las características de las cuerdas. **Capítulo 6:** Movimiento circular y otras leyes de

Newton. No se realiza el diagrama de cuerpo libre de las cuerdas, ni se representa su peso. En los enunciados de los problemas, salvo en el problema 1 (pág. 155), no se mencionan las características de la cuerda.

**Tipler y Mosca. Capítulo 4:** Leyes de Newton. 4.7 Problemas con dos o más objetos: “*Dos cuerpos que se mueven en línea recta y que están conectados por una cuerda tensa deben tener la misma componente de la aceleración paralela a la cuerda, ya que el movimiento de los cuerpos en la dirección paralela a esta es idéntico*” (pág. 95). Se plantea que “*La tensión en una cadena o una cuerda es el módulo de la fuerza que un segmento de la cuerda ejerce sobre el inmediato continuo*” (pág. 96). La tensión puede variar a lo largo de la cuerda, como: “*... en el caso de la cuerda que cuelga del techo de un gimnasio, donde la tensión en el trozo que está junto al techo es mayor, ya que en esa zona se aguanta también el peso de toda la cuerda*” (pág. 96). Se grafica el diagrama de sólido libre para un tramo de cuerda de masa  $\Delta m$ , que vincula a dos cuerpos – Steve y Paul- (Fig. 4.22, pág. 96). Steve desliza sobre la superficie inclinada de un glaciar y Paul cae verticalmente del borde de un glaciar; el tramo de la cuerda analizada es el próximo a Steve. Se concluye que: “*Si la masa de la cuerda es despreciable, entonces  $T = T'$  y no se necesita una fuerza neta para darle aceleración*” (pág. 96). Si se considera la cuerda completa y se desprecia el peso de la misma, sobre ésta actúan 3 fuerzas: la que ejerce Steve, la que ejerce Paul y la que ejerce el apoyo. Pero si se desprecia el rozamiento entre la cuerda y el plano inclinado, la fuerza del apoyo no tiene componente en la dirección de la cuerda (Fig. 4.23, pág.96). “*En resumen, si una cuerda de masa despreciable cambia de dirección pasando por una superficie sin rozamiento, la tensión es la misma en toda la cuerda*” (pág. 96). En el ejemplo 4.12: Los escaladores, se retoma el ejemplo anterior y se aclara que: “*La cuerda no se alarga ni se encoge, de modo que Paul y Steve tienen siempre el mismo módulo de velocidad. Sus aceleraciones  $a_p$  y  $a_s$  son, por lo tanto, iguales en módulo aunque no en dirección*” (pág. 96).