

Las fuerzas de roce en libros de texto y en revistas científicas

María Fernanda Arcodía ¹ - Stella Maris Islas ²

¹Maestrando en Enseñanza de las Ciencias Experimentales. Facultad de Ingeniería. UNICEN

²Facultad de Ciencias Exactas. UNICEN. Campus Universitario. Tandil

harcodia@hotmail.com - sislas@exa.unicen.edu.ar

Este trabajo, es un informe parcial de Tesis de Maestría y analiza cómo se presenta el fenómeno del rozamiento en diecisiete libros de texto de Física (escolares y universitarios), y en nueve revistas científicas. Se encuentra que en casi todos los libros el rozamiento es abordado fraccionadamente en varios capítulos, destacando su efecto en la disipación de energía, y con variadas referencias a los marcos teóricos que intentan interpretarlo. No se favorece el reconocimiento de los límites de validez de las leyes empíricas.

En las revistas de investigación educativa, si bien la edición de artículos sobre roce no es frecuente, se aprecian segmentos que pueden contribuir a una mejor comprensión del fenómeno y que habitualmente no se hallan en los libros de texto. La discusión de teorías interpretativas del tema es -como cabía esperarse- notable en los artículos de investigación en Física.

Palabras clave: fuerzas de fricción, educación en Física, libros de texto, revistas.

This article, reports partial results of a Magister Thesis, and analyzes the way in which friction phenomena are handled in seventeen Physics textbooks (for secondary schools and universities), and in articles of nine scientific journals. It was found that friction is partially treated in several chapters in almost all these textbooks, with an emphasis in its energy dissipation effect and with different references to theoretical frameworks. It was found that a discussion about limits of validity of empirical laws is not encouraged.

Although articles about friction are not frequent in education research journals, several paragraphs which might contribute to improve the understanding of the phenomenon were found in them. This is unusual in textbooks. As might be expected, a discussion on interpretative theories about friction was relevant in Physics research articles.

Keywords: friction forces, Physics education, textbooks, journals.

Introducción

En este trabajo se presentan resultados parciales acerca de cómo se plantea el fenómeno de rozamiento en los libros de texto de Física escolares y universitarios y en las revistas de investigación relacionadas con la Educación en Física. El estudio se inserta dentro de un proyecto de investigación en el cual también se explora el tratamiento del roce en los trabajos presentados en congresos de Educación en Física.

Nos hemos preguntado si los libros de texto más utilizados en los distintos niveles de la enseñanza favorecen en los estudiantes la construcción de los conocimientos científicos

referidos al roce y posibilitan al docente -que en muchos casos los ha seleccionado como guía- realizar un tratamiento didáctico que propicie aprendizajes significativos. Dado que los libros de texto constituyen un material educativo que influye fuertemente en el aprendizaje, entendemos que un estudio acerca del tratamiento que en ellos se realiza del tema, podría ayudar a los docentes a entender algunas de las dificultades de aprendizaje que presentan los estudiantes.

Otro aspecto a considerar es que las revistas científicas constituyen un medio de comunicación para difundir los trabajos de investigación. Una indagación sobre los temas que en ellas se publican posibilita inferir cuáles

son los intereses de los científicos en la actualidad y de qué manera el problema del rozamiento, en sus diversas manifestaciones, se encuentra entre los mismos. Asimismo, se indagan las revistas especializadas en educación científica, con el propósito de reconocer la presencia de este tema, y las diferentes propuestas tendientes a solucionar los problemas de aprendizaje en relación con la fricción.

A modo de anticipación de los resultados que luego se detallan, pueden señalarse dos hechos:

- a) en casi todos los libros investigados el rozamiento es abordado parcialmente en diferentes capítulos, destacando su relación con la energía disipada, siendo algunas las referencias a los modelos interpretativos del fenómeno. No se favorece el reconocimiento de los límites de validez de las leyes empíricas, ni el del efecto motor que el roce tiene en ciertos casos.
- b) si bien el número de artículos en revistas científicas dedicadas específicamente al rozamiento puede calificarse como escaso, puede observarse la relevancia dada a este concepto en el análisis de fenómenos tratados en otros artículos, por ejemplo, movimiento de proyectiles. En algunos casos, se hace mención de las últimas investigaciones que intentan explicar el roce alejándose del tratamiento tradicional que en general realizan los libros de texto, en el que se minimiza su efecto -cuando no se lo considera despreciable- y se hace hincapié en la rugosidad de las superficies como origen del fenómeno.

El tratamiento didáctico de las fuerzas de roce

El rozamiento determina características de fenómenos naturales presentes en nuestra vida cotidiana, pero a pesar de ello, hay pocas investigaciones específicas sobre hechos didácticos relacionados con dicho concepto (Saltiel, 1994).

De un estudio realizado por Concarri et al. (1995) surge que en los textos universitarios el roce es generalmente asociado a un efecto retardador o disipativo y que no hay una adecuada contextualización de las leyes empíricas

usadas en su modelización. Predomina la interpretación intuitiva del fenómeno como derivado de la rugosidad de las superficies en contacto sin enfatizar sus limitaciones, ya que este modelo únicamente es válido a escala macroscópica y, según los últimos estudios, es un modelo desactualizado. Islas y Guridi (1996) consideran que el tránsito del enfoque microscópico al macroscópico parece ser problemático en los estudiantes y proponen que sería más consistente con el estado del arte en el tema, mencionar que el fenómeno de fricción está siendo estudiado por los físicos en el marco de discusiones teóricas.

Además, las fuerzas de roce son muy poco estudiadas durante el proceso de aprendizaje de los contenidos de Física (Islas y Guridi, 1997). Generalmente, tanto en los libros como en el tratamiento áulico de ciertos temas, se desprecian las fuerzas de rozamiento para evitar complicaciones en la formalización matemática y parece que este hecho incide fuertemente en la aparición de dificultades para efectuar un aprendizaje *significativo* (Ausubel et al., 1983) del rozamiento y no favorece el desarrollo conceptual, es decir, la construcción y la discriminación de significados deseable en los estudiantes (Moreira, 1994). Al no hacer explícitos el significado y los alcances de la modelización que califica como despreciable a la influencia de la fricción, se contribuye a generar un obstáculo al momento de vincular la Física de las aulas con situaciones conocidas por los estudiantes en su realidad cotidiana.

Tal como se consigna en Pozo et al. (1994) es fundamental tener en cuenta las ideas previas -acerca de un tema específico- que prevalecen en los alumnos, porque *“siempre que una persona intenta comprender algo... necesita activar una idea o conocimiento previo que le sirva para organizar esa situación y darle sentido”* (Pozo et al., 1994, p. 42). Las ideas previas surgen de la interpretación que el estudiante hace de los fenómenos que analiza, y es necesario confrontar tales ideas con las científicas (Islas, 1994), teniendo presente que tanto los libros de texto como la educación formal influyen en las mismas.

Al redactar el contenido teórico referido al

rozamiento en los libros de texto, quizás los criterios de los autores hayan sido el conocimiento disciplinar específico, sus opiniones acerca de la simplicidad o complejidad del contenido, o bien tradiciones y pautas didácticas arraigadas. Sin embargo, existe la necesidad de tener en cuenta otros criterios tales como las ideas de los estudiantes y cómo se debería enseñar el tema si se pretende lograr la construcción del significado.

La explicación y la comprensión que realizan los estudiantes pueden mejorarse a través del uso de modelos adecuados dado que éstos posibilitan relacionar la teoría y los fenómenos u objetos (Concari, 2001) ya que “*la relación entre el modelo científico y la porción de la realidad que él representa es conceptualizada como una analogía*” (Islas y Pesa, 2002, p. 15). A partir de un modelo consensuado por los científicos, los autores de libros de texto y los docentes -entre otros- realizan modificaciones al mismo con el fin de obtener un modelo de enseñanza que permita la construcción de modelos mentales -en los estudiantes- que sean consistentes con el modelo científico (Islas y Pesa, 2002).

Aunque es posible que, por simplicidad, no sea conveniente incluir en las clases de Física todos los modelos elaborados para la fricción, sería adecuado mencionar la existencia de esta variedad y recordar a los estudiantes que para utilizar las leyes empíricas hay que tener en cuenta su rango de validez. La explicación completa podría abordarse en los libros universitarios de Física. La simplificación de contenidos para facilitar la comprensión puede dar como resultado, en algunos casos, que los estudiantes no sepan identificar el origen del fenómeno. Según Cotignola et al. (1998) “*uno de los objetivos de la enseñanza de la Física es que el alumno incorpore el concepto de modelo y aprenda a reconocer que los modelos son siempre, por su propia naturaleza, imperfectos. Esto último implica reconocer sus límites de validez*”. Si para aprender ciencia debemos comprender algunos modelos científicos que nos permitan alcanzar un mayor grado de conocimiento sobre los fenómenos (Pozo, 1998) no debe ser sencillo hacerlo con el de la fricción si previamente no hemos decidido qué

modelo utilizar para efectuar las interpretaciones.

En los textos, al efectuar el tratamiento del tema, se facilitaría el aprendizaje si se menciona que lo que estudian está derivado de datos experimentales, y que ello no implica la falta de modelos teóricos válidos; las leyes físicas nos ayudan a comprender la naturaleza y a desenvolvernos en ella, pero además, deberíamos detenernos a pensar cuál es su significado. “*... para comprender las leyes físicas debemos comprender que son alguna forma de aproximación*” (Feynman et al., 1971, p. 12-1). Si los alumnos no son conscientes de ciertos detalles acerca de la presentación de los contenidos estarán interpretando el concepto de rozamiento de manera superficial.

Interpretación física del fenómeno de rozamiento

Analizar la naturaleza del fenómeno del rozamiento no es un problema sencillo. Las fuerzas se clasifican en cuatro interacciones fundamentales: gravitatoria, nuclear fuerte, nuclear débil y electromagnética. Las fuerzas de roce están comprendidas dentro de las interacciones electromagnéticas. Éstas son ejercidas entre todas las partículas cargadas y son de largo alcance, afectando a la estructura de los núcleos, átomos y moléculas. En la bibliografía (ej.: Alonso y Finn, 1995; Burns et al., 1999; Krim, 2002 *b*) se encuentran modelos explicativos para describir el fenómeno del roce que ponen énfasis en diversos aspectos teóricos: acciones interatómicas o intermoleculares (teoría de la adherencia, colisiones moleculares, interacciones electromagnéticas, vibraciones atómicas) y rugosidad de las superficies.

El modelo de rugosidad, elaborado por Coulomb en 1785, establece que las superficies en contacto presentan irregularidades y el roce se origina al levantarse el cuerpo resbalante sobre las protuberancias. En un texto actual (Feynman et al., 1971) se explica que cuando un cuerpo sólido desliza sobre otro, la fuerza de roce se genera en la gran cantidad de puntos de contacto entre las superficies, allí

los átomos parecen pegarse unos a otros y, al arrastrar el objeto deslizante se producen deformaciones que dan lugar a las vibraciones y a un consecuente aumento de la temperatura en los dos cuerpos.

Según la teoría de la adherencia superficial, la fuerza de rozamiento es originada por las fuerzas de atracción entre las moléculas de las superficies en contacto, estas fuerzas de atracción responden al modelo de Van der Waals y pueden ser tan intensas que producen soldaduras (Concari et al., 1995). Por otro lado, Gettys et al. (1994) explican que la interacción responsable de las fuerzas de roce es la fuerza electromagnética entre los átomos y moléculas, que actúa al nivel de los electrones y los núcleos.

J. Krim (2002 a) afirma que usualmente se atribuye el origen del rozamiento a algo que tiene que ver con la rugosidad de las superficies, aunque en las últimas décadas los nanotribólogos han venido descubriendo con regularidad diferencias notables entre la fricción a escala atómica y la observada macroscópicamente. Los estudios experimentales y los modelos computarizados indican que estas fuerzas nacen de las vibraciones de la red atómica que constituye las superficies en contacto (Liebsch et al., 1999; Burns et al., 1999; Krim, 1996 a, 2002 a y b). Desde esta mirada teórica es posible explicar el incremento del roce cuando se trata de un par de superficies extremadamente pulidas, hecho que no podría ser explicado con los modelos anteriores.

En los años ochenta se desarrolló (Krim, 2002 a) un modelo sencillo de rozamiento sin desgaste basado en las vibraciones de la red atómica: la fricción se produce cuando los átomos cercanos a una de las superficies ponen en movimiento a los de la otra. La interpretación cuántica de esas vibraciones apela a la noción de *fonón* (Hall, 1978), de manera análoga al empleo de la idea de fotón en la interpretación cuántica de fenómenos relacionados con la luz. Los fonones son bosones que pueden ser creados o destruidos en las colisiones generadas por las vibraciones de la red atómica. En el caso de la fricción, la red atómica sufre una variación en sus modos vibracionales debido al deslizamiento. De ese

modo, parte de la energía mecánica necesaria para que una superficie se deslice sobre la otra se convierte en energía sonora y ésta acaba por transformarse en energía térmica (Krim, 1996 a, 2002 a y b). La cantidad de energía mecánica empleada en la generación de ondas de sonido depende de la naturaleza de las sustancias que se deslicen, y la cantidad de energía disipada puede ser más -o menos- considerable en relación con la energía total puesta en juego en el fenómeno.

Admitiendo que en ocasiones es notable la complejidad matemática que demanda el manejo de algunos modelos teóricos, Feynman et al. (1971) plantean que se pueden resolver problemas utilizando leyes empíricas con la condición de que se tenga presente su rango de validez. Realizando una buena aproximación, la fuerza de roce para un sólido que desliza sobre otro es proporcional a la fuerza normal con un coeficiente más o menos constante, de modo tal que la fórmula empírica permite calcular la fuerza que se necesitaría en ciertas circunstancias prácticas de la ingeniería. Pero, si la fuerza normal o la rapidez del movimiento aumentan demasiado, la ley falla, debido al excesivo calor generado.

Metodología

La exploración del problema abarcó actividades de análisis y reflexión crítica del material impreso existente. Se recolectaron datos acerca del planteamiento del fenómeno del rozamiento en: 17 libros de texto de Física, y en 44 artículos publicados durante los últimos cinco años en revistas especializadas, 7 de ellas en Educación Científica, y 2 en Física.

La selección de los textos se decidió luego de realizar una consulta a docentes en actividad -de los diferentes niveles de educación- acerca de la bibliografía que proponen a los estudiantes, que utilizan en sus clases y como libro de consulta. En el caso de los libros de EGB y Polimodal, algunos no se tuvieron en cuenta ya que no trataban el tema en estudio. Los libros analizados se detallan en el Anexo, indicando en cada caso la cantidad de libros de cada nivel.

Se inició la búsqueda a partir del índice general de los textos, en ellos se detectaron palabras relacionadas con el concepto en cuestión: rozamiento, frotamiento, fricción, fuerza, fuerzas conservativas y no conservativas, viscosidad, trabajo, energía, movimiento de traslación y rotación. A partir de las lecturas de los libros de texto seleccionados, se extrajeron ideas consideradas relevantes y que fueron sujetas a revisión a medida que se avanzaba en el trabajo. Se construyeron tablas para facilitar la interpretación y el análisis de la información. El análisis de los datos obtenidos se realizó a través de un sistema de categorías y subcategorías construido durante la exploración y que fue reformulado sobre la base de la información extraída de las lecturas del material en estudio.

Se estudiaron las publicaciones de los últimos cinco años en nueve revistas (se las detalla en el Anexo). En principio se detectaron, a través de los títulos, más de cuarenta artículos dedicados al tema de interés; se tomaron conceptos considerados importantes y se estudiaron en base a las categorías de análisis elaboradas para los libros. Tal como cabía esperar, algunos de los artículos no pudieron encuadrarse en las mismas, con lo cual fue necesario elaborar categorías y subcategorías específicas para las revistas.

Algunos de los trabajos están centrados en cuestiones generales acerca del fenómeno de roce, y otros específicamente en el roce en fluidos. También se analizaron otros que incluyen referencias a estos temas dentro de asuntos más amplios: es el caso de artículos de Mecánica, o bien de Termodinámica, o bien de Enseñanza de las Ciencias que aluden al fenómeno de fricción. Por tales motivos, los artículos se organizaron para el estudio del modo que se esquematiza a continuación:

Rozamiento (en general)
Rozamiento en fluidos

Mecánica	}	Incluyen consideraciones acerca del roce
Termodinámica		
Enseñanza de las Ciencias		

Listado de categorías de análisis empleadas

Los temas que presentan los materiales analizados (textos y revistas) se agruparon para definir las siete categorías siguientes:

Categoría A: Origen de la fuerza de fricción; se explica por:

- 1 - acciones interatómicas y/o intermoleculares: adhesión molecular, interacciones electromagnéticas y vibraciones atómicas.
- 2 - rugosidad de las superficies.

Categoría B: Características del vector fuerza de roce; lo presentan:

- 1 - con la expresión matemática de la ley empírica
- 2 - como opuesto al vector velocidad.
- 3 - distinguiendo entre rozamiento estático y dinámico.
- 4 - dando valores de coeficientes de fricción.
- 5 - representando la fuerza de rozamiento y la normal.
- 6 - como proporcional a la superficie real de contacto.

Categoría C: Características del trabajo efectuado por la fuerza de roce:

- 1- es de signo negativo.
- 2- produce disminución en la energía cinética (disipación de energía).
- 2-1- relacionada con vibración atómica
- 2-2- sin especificar vibración atómica
- 3- genera transformación de energía mecánica en energía interna.
- 4- depende de la trayectoria del cuerpo.

Categoría D: Control de la fuerza de rozamiento:

- 1- por lubricación.
- 2- por rodadura.
- 3- por introducción de capa de gas entre superficies deslizantes.
- 4- por suspensión del cuerpo mediante fuerzas magnéticas.

Categoría E: Rozamiento en fluidos; aparece relacionado con:

- 1- movimiento del fluido.
- 2- cuerpo que se mueve en un fluido en reposo.

Categoría F: Propósito de los autores:

- 1- análisis del fenómeno físico.
 - 2- enseñanza del fenómeno físico.
 - 3- diagnóstico de nociones de los estudiantes.
- (Esta categoría corresponde solamente a revistas, no a libros de texto).

En lo que sigue, las referencias a los libros de texto y revistas examinados se harán con la numeración asignada al detallarlos en el Anexo.

Resultados obtenidos

A los efectos de facilitar la lectura, los resultados se consignan en formato de tablas,

que incluyen (para libros y para revistas) datos numéricos sobre la presencia de segmentos textuales dedicados al fenómeno del roce y/o a su enseñanza. Se colocan además, en cada categoría, comentarios y ejemplos sobre tales segmentos.

Nota: Para todas las categorías, cuando se indica “(6, p. 173)” se refiere al Libro 6 (especificado en el Anexo) y la página en que se encuentra el ejemplo señalado. Cuando se escribe “(1A29, p. 338)” se quiere expresar que se trata de la revista 1, artículo número 29 (especificados ambos en el Anexo) y que en la página 338 del mismo se halla el ejemplo citado.

Categoría A: Origen de la fuerza de fricción.

	Nº de libros	Ejemplos / Comentarios	Nº revistas	Ejemplos / Comentarios
Modelos de acciones interatómicas y/o intermoleculares (adhesión molecular) y rugosidad de las superficies (se proponen dos modelos diferentes para explicarlo).	5	“Atribuimos la disminución de velocidad a la fuerza de rozamiento o de fricción ejercida sobre el cuerpo por la mesa, debido a que ni la mesa ni el cuerpo son perfectamente lisos. Si pulimos la superficie de la mesa y del cuerpo, éste desliza y llega más lejos de modo que su disminución de velocidad en un tiempo determinado es menor.” (6, p. 92) y posteriormente expresa “Esta fuerza de fricción es debida al enlace de las moléculas del bloque y de la mesa en los lugares donde las superficies están en íntimo contacto” (6, p. 173). En 11 (p. 94) además se puede ver la vinculación entre los dos modelos mencionados cuando expresa “... La fuerza de rozamiento depende de las superficies que están en contacto (...) y de cuánto está comprimida una superficie contra otra. Un análisis detallado de las fuerzas de rozamiento nos llevaría a estudiar las fuerzas entre las moléculas de las superficies en contacto pero podemos entender las fuerzas de rozamiento como algo parecido a cuando una superficie está poco pulida y entonces es más difícil deslizarse sobre ella”.	0	No se encuentran artículos que empleen simultáneamente ambos modelos explicativos.
Modelo de acciones interatómicas y/o intermoleculares.	12	“Ambas superficies de contacto son irregulares a nivel atómico. Hay muchos puntos de contacto en que los átomos parecen pegarse unos a otros y entonces, al arrastrar el cuerpo deslizante, los átomos se separan y surge vibración;(…) al pasar el deslizador por sobre los obstáculos, los obstáculos se deforman y entonces generan ondas y movimientos atómicos y, después de un rato, calor en los dos cuerpos.” (2, p. 12-5).	4	“... indica que la fuerza de fricción entre la piedra rodante y el hielo es de naturaleza parcialmente adhesiva.” (1A29, p. 338).

	Nº de libros	Ejemplos / Comentarios	Nº revistas	Ejemplos / Comentarios
		<p>“La mayor parte de las fuerzas cotidianas que observamos entre objetos macroscópicos, por ej. fuerzas de contacto y de rozamiento, así como las fuerzas ejercidas por muelles y cuerdas, son manifestaciones complicadas de las interacciones básicas electromagnéticas”. (6, p. 161).</p> <p>En siete de los textos se hace referencia al carácter electromagnético y sólo en uno a las vibraciones de los átomos. No aparecen en los textos alusiones a las colisiones moleculares.</p>		<p>“En el caso de la interacción sólido-sólido, (...). La mayoría de los libros utiliza el modelo de interacción entre moléculas o átomos de los cuerpos en contacto.” (3A20, p. 276).</p>
Rugosidad de las superficies.	10	<p>“Cuando el piso es de baldosas es más fácil desplazar el sillón; cuando el piso es de goma es muy difícil desplazarlo. La fuerza de rozamiento depende de las superficies que están en contacto (el piso y el sillón) y de cuánto está comprimida una superficie contra otra”. (11, p. 94).</p> <p>Este es un modelo limitado a la escala macroscópica cuyo límite de validez no siempre se explicita.</p>	16	<p>“Esta superficie es totalmente lisa, y nos referimos a ella como la superficie de menor fricción” (1A3, p. 1095).</p>
Con la expresión matemática de la ley empírica.	8	<p>La fuerza de rozamiento estática máxima, resulta proporcional a la fuerza que se ejercen mutuamente las superficies en la dirección perpendicular a ellas (en general, llamada fuerza normal, N):</p> <p>$Roz\ máx = \mu_e \cdot N$ (7, p. 70).</p>	19	<p>“...tomamos el modelo tradicional para la fricción por deslizamiento, que considera una fuerza de fricción que es directamente proporcional a la fuerza normal, $f_k = m_k \cdot N$, donde la constante de proporcionalidad m_k es el coeficiente de fricción cinética.” (1A2, p. 670).</p>
Como opuesto al vector velocidad.	14	<p>“... fuerzas resistivas tales como la fricción o la resistencia del aire se oponen al movimiento en el suelo o en el aire.” (4, p. 89);</p> <p>“... existe una resistencia que se opone al movimiento relativo de los cuerpos entre sí.” (1, p. 104). En otros trabajos (ej. Wehrbein, 1992) también se la considera de ese modo. Solo esporádicamente, mediante el ejemplo de desplazarse caminando o de movilizarse en carreteras con hielo, se hace referencia al efecto motor en la traslación; y es tratado muy superficialmente el efecto motor rotacional que impulsa a un vehículo con ruedas.</p>	9	<p>“El movimiento del vehículo tendrá, entonces, la oposición de las fuerzas de fricción horizontales...” (1A27, p. 447);</p> <p>“...las fuerzas de roce que se oponen al deslizamiento...” (4A23, p. 53);</p>

Categoría B: Características del vector fuerza de roce.

	Nº de libros	Ejemplos / Comentarios	Nº revistas	Ejemplos / Comentarios
Distinguiendo entre rozamiento estático y dinámico.	7	La explicación distingue claramente a las fuerzas de fricción estática de las fuerzas de fricción cinética.	18	<p>“... cómo la energía es irreversiblemente redistribuida, dado que las fuerzas de fricción se oponen al movimiento” (6A30, p. 26);</p> <p>“FUERZA DE ROZAMIENTO: Fuerza que se opone al movimiento.” (3A42, p. 23).</p> <p>“Comparando “grosso modo” las características generales de las fuerzas de fricción estática y cinética, podemos decir que, a priori, las fuerzas de rozamiento estático son desconocidas, en módulo y sentido, de modo diferente a lo que ocurre con las fuerzas de rozamiento cinético, ya que estas están perfectamente definidas, tanto en módulo, como en sentido.” (7A32, p. 362).</p>
Dando valores de coeficientes de fricción.	5	Se encuentran tablas que muestran algunos valores representativos de los coeficientes de fricción estático y cinético, para diferentes pares de superficies.	3	<p>“Para el par de superficies lámina de madera-bloque con base de goma, el valor obtenido del coeficiente de roce estático..., es $\mu_e = 0,84$ y el valor obtenido para el coeficiente de roce cinético..., $\mu_c = 0,66$.” (7A38, p. 149).</p>
Representando la fuerza de rozamiento y la normal.	11	Aparecen dos vectores perpendiculares entre sí, correspondientes a la fuerza de rozamiento y la fuerza normal, respectivamente. En general, los esquemas son imprecisos y podrían generar confusiones porque utilizan distintos criterios acerca del punto de aplicación de las fuerzas de roce y no se indica el par acción-reacción para dicha fuerza. (Por ejemplo, fig. 12-1 de 2, p. 12-6).	1	<p>En la página 893 de 1A8 se presenta y se analiza un gráfico de datos empíricos de fuerza de fricción en función de la carga normal.</p>
Como proporcional a la superficie real de contacto.	0	En los textos analizados no se alude a esta relación.	1	<p>“La idea de base es que, cuando dos superficies se tocan una a la otra, el área real de contacto microscópica es mucho menor que el área macroscópica aparente,...”. (1A8, p. 891).</p>

Categoría C: Características del trabajo efectuado por la fuerza de roce.

	Nº de libros	Ejemplos / Comentarios	Nº revistas	Ejemplos / Comentarios
Signo del trabajo efectuado por la fuerza de fricción.	10	Se indica que es negativo. Por ejemplo: "... este trabajo será negativo pues la fuerza de fricción posee dirección opuesta al movimiento." (6, p. 203).	0	No se señala explícitamente que el trabajo efectuado por la fuerza de roce es de signo negativo. Sin embargo, ello se encuentra tácitamente en ciertos casos.
Produce disminución en la energía cinética.	11	"Cuando un automovilista clava los frenos, bloquea las ruedas. De esa manera el trabajo de la fuerza de rozamiento o fricción con el pavimento (F_{roz}) hará que, a lo largo de cierta distancia ($d_{frenado}$) el automóvil pierda toda la energía cinética que traía." (7, p. 111).	2	Uno de ellos alude a vibraciones atómicas: "En el nivel atómico, la excitación de vibraciones de los átomos, debida al deslizamiento, eventualmente es disipada como calor." (1A8, p. 892).
Genera transformación de energía mecánica en energía interna.	13	"La energía cinética del auto se transforma en energía interna asociada con las llantas, las balatas de los frenos y el camino cuando éstos se calientan." (5, p.187). Solamente en dos de ellos se especifica la vibración atómica "... cuando un bloque se desliza sobre una superficie rugosa, la energía mecánica perdida se transforma en energía interna almacenada temporalmente en el bloque y en la superficie, lo que se evidencia por un incremento mensurable en la temperatura del bloque. Veremos que en una escala submicroscópica esta energía interna está asociada a la vibración de los átomos en torno a sus posiciones de equilibrio." (5, p. 222); "Hay muchos puntos de contacto en que los átomos parecen pegarse unos a otros y entonces, al arrastrar el cuerpo deslizante, los átomos se separan y surge vibración" (2, p. 12-5); "La fricción de las ruedas con el pavimento ha producido calor" (11, p. 138).	6	"... la rodadura sin deslizamiento de un sólido es siempre acompañada de un roce relacionado con las 'pérdidas' de energía, esto es, la transformación de energía mecánica en energía térmica..." (4A22, p. 259); "Las fuerzas de fricción son no-conservativas, convirtiéndose la energía cinética en energía interna de los materiales que se deslizan estando en contacto" (1A8, p. 890); "La eficiencia de una máquina de Carnot no ideal fue determinada teniendo en cuenta los efectos de la fricción y la conducción del calor. (...) Concluimos que para obtener la eficiencia más alta posible, las pérdidas por fricción deben ser reducidas todo lo posible." (1A9, p. 1149).
Depende de la trayectoria del cuerpo.	8	"En general, no podemos evaluar este trabajo porque depende de los detalles del movimiento del objeto." (3, p. 210); "El trabajo realizado por la fricción cinética depende tanto del desplazamiento del objeto como de los detalles del movimiento entre las posiciones inicial y final." (5, p. 185).	4	"La energía gastada en la fricción cuando el bloque se desplaza una longitud Kdq está dada por: $dW_f = - (F_d + F_v) Kdq =$ $= - (\mu N + bv^2) Kdq$ " (7A39, p.313).

Categoría D: Control de la fuerza de rozamiento.

	Nº de libros	Ejemplos / Comentarios	Nº revistas	Ejemplos / Comentarios
Por lubricación.	5	<i>"... si la superficie sobre la que se pretende andar está bien engrasada, no se desarrollará un rozamiento apreciable"</i> (9, p. 123).	2	<i>"Las simulaciones de este tipo nos ayudan a entender cómo los fluidos confinados forman capas protectoras que mantienen a los sólidos separados."</i> (6A30, p. 27).
Por rodadura.	9	<i>"La experiencia muestra que se reduce el rozamiento de un cuerpo que desliza sobre otros que ruedan."</i> (17, p. 53).	3	<i>"... nuestros resultados establecen que la fricción por rodadura es la mayor causa de amortiguación en los primeros estados del movimiento."</i> (1A5, p. 1025).
Por suspensión del objeto por fuerzas magnéticas.	2	<i>"Los trenes magnéticamente levitados que actualmente se hallan en desarrollo, tienen el potencial de viajar a alta velocidad, casi sin fricción."</i> (4, p. 120).	0	En las revistas analizadas no se alude a esta relación.
Por introducción de una capa de gas entre las superficies que deslizan.	5	<i>"Si apoyamos el cuerpo en un delgado colchón de aire (...), el cuerpo se deslizará durante un tiempo considerable y una distancia grande con una variación casi imperceptible de su velocidad."</i> (6, p. 92).	0	En las revistas analizadas no se alude a esta relación.

Categoría E: Rozamiento en fluidos.

Cabe aclarar que estos temas aparecen, en los libros de texto, en los capítulos que tratan dinámica de fluidos, y no en los que presentan el fenómeno de la fricción de modo general.

	Nº de libros	Ejemplos / Comentarios	Nº revistas	Ejemplos / Comentarios
Movimiento del fluido.	13	<i>"... existe una fuerza de fricción entre capas distintas de un fluido que se mueven con velocidades diferentes..."</i> (1, p. 107).	2	<i>"... que sugieren que el análisis del flujo del fluido, en torno del objeto, puede hacerse en dos regiones: una próxima al objeto donde los efectos del roce son muy importantes y una externa, donde el roce puede ser despreciado."</i> (7A37, p. 196).

	Nº de libros	Ejemplos / Comentarios	Nº revistas	Ejemplos / Comentarios
Cuerpo que se mueve en un fluido en reposo.	3	“... la trayectoria real que describen los cuerpos en un tiro oblicuo (...). El rozamiento con el aire afecta el movimiento horizontal, de modo que la primera parte de la parábola la realiza con mayor velocidad (horizontal) que la segunda parte.” (11, p. 74).	11	“En este trabajo se presenta la dinámica de un bloque cuando éste se desliza sobre un trayecto semicircular con la presencia de ambos rozamientos, entre superficies y el viscoso.” (7A39, p. 312). “... es posible pensar en dos factores relativamente independientes que causan la resistencia del fluido al movimiento: la fricción viscosa y la resistencia frontal” (2A14, p. 215).

Categoría F: Propósito de los autores.

En los libros de texto este propósito no se encuentra en forma explícita, por lo tanto esta categoría corresponde solamente a las revistas analizadas.

	Nº revistas	Ejemplos / Comentarios
Análisis del fenómeno físico.	17	Se enfatizan diferentes aspectos del fenómeno, tales como: “Este es un ejemplo paradigmático del papel de la fricción como un enlace entre los movimientos translacional y rotacional.” (1A7, p. 1042).
Enseñanza del fenómeno físico.	18	En relación con este objetivo, también se advierte una focalización en determinados tópicos, como la rodadura, por ejemplo: “El experimento ha sido especialmente estructurado: i) para clarificar el rol que juega la fricción en la rodadura; ...” (2A13, p. 375).
Diagnóstico de nociones de los estudiantes.	7	“... las concepciones espontáneas han sido identificadas como una de las barreras para la construcción de modelos mentales para la resolución de problemas de Física (...) básicamente, lo que se precisaba saber para resolver tales cuestiones eran las expresiones relativas a la fuerza de roce” (7A40, p. 325, 329).

Cabe consignar, además, que en las revistas de educación se encuentra escaso material sobre aspectos clave de la fricción: son pocos los artículos que se dedican específicamente a problemas del aprendizaje de este tema. En cambio, en las revistas sobre temas de Física,

la frecuencia con que aparecen artículos sobre fricción es más alta. Como puede verse en el anexo donde se nombran todas las revistas de educación científica, hay dos de ellas que en los cinco años consultados no han publicado ningún artículo sobre rozamiento.

Comentarios acerca de los resultados

El análisis muestra que la mayoría de los libros de texto más empleados en las escuelas y en las universidades, con su modo de presentar estos contenidos, no facilitarían la confrontación entre las ideas previas de los estudiantes y las ideas científicas; no se encuentran expresiones que estimulen a los lectores a reflexionar sobre la situación presentada. El libro podría incentivarlos a que elaboren sus propias interpretaciones de los hechos y a que traten de evaluarlas por sí mismos; de ese modo, los alumnos estarían activamente implicados en la reflexión sobre su propia manera de interpretar el fenómeno.

En algunos textos, la referencia acerca de la naturaleza del rozamiento se remonta a una teoría elaborada hace aproximadamente trescientos años, según la cual el único factor decisivo para el fenómeno sería la rugosidad de las superficies en contacto; no se menciona la existencia de otras teorías que actualmente están en uso para interpretar la fricción.

Con la habitual presentación simplificada del rozamiento se intentaría favorecer el aprendizaje considerando que los estudiantes no serían capaces de entender determinados modelos abstractos; pero, la alternativa de eliminar cualquier intento de explicación podría llevar a construcciones erróneas. Aunque en algunos casos se desprece el roce, no estaría de más plantear la pregunta acerca de su consideración, dejando los detalles de la explicación para otros estudios más avanzados. En el afán de simplificar el estudio de los fenómenos, se puede caer en el error de trabajar siempre con sistemas ideales, sin rozamiento y en ese caso los estudiantes podrían tener problemas para vincular esos sistemas ideales con los hechos que conocen de su entorno.

En casi todos los libros de texto las fuerzas de fricción se relacionan con determinados temas (fuerzas en general, movimiento, rodadura, trabajo, energía, viscosidad, etc.) pero lo hacen con ejemplos tales como el del bloque que se desliza sobre una superficie horizontal y sobre un plano inclinado; de una persona que se desplaza caminando; de una bolita que cae en un fluido, y no se incorporan ejemplos

extraídos de los deportes, la medicina, la ingeniería, que muestran de forma más significativa para los alumnos la importancia del rozamiento en los fenómenos que nos rodean. Nuestros resultados concuerdan con los de otras investigaciones (Concari et al., 1999), al mostrar que las situaciones presentadas y desarrolladas por la mayoría de los libros de texto condiciona y limita las representaciones que los estudiantes construyen acerca de las fuerzas de roce, ya que no les ayuda a interpretar que se trata de un fenómeno de interacción entre superficies, cuyos efectos dependen de las condiciones particulares de cada situación, y que puede interpretarse a la luz de diversos marcos teóricos, según el enfoque (macro/micro) de cada estudio. Asimismo, el uso de leyes empíricas no suele estar acompañado de consideraciones de su validez.

El encuadre del tema en los libros de texto da lugar a entender *el roce* como un fenómeno que solamente ocurre cuando un sólido desliza sobre otro sólido. Las fricciones que ocurren cuando un fluido participa en el movimiento no se examinan, ni se mencionan, en los párrafos dedicados a las fuerzas de roce, sino en los capítulos dedicados a la dinámica de los fluidos. Y se encuentra un inconveniente adicional: los únicos fluidos que se mencionan son los lubricantes (categoría D) empleados, precisamente, para reducir los efectos del rozamiento. Estos dos hechos pueden combinarse para generar en el estudiante concepciones erróneas acerca del roce en fluidos.

En las revistas de investigación educativa se analizan diversos casos explicados con mayor detalle y rigurosidad que en los libros de texto. Tal es el caso de artículos que tratan sobre el desempeño de los estudiantes frente a actividades que abordan al rozamiento en general, discutiendo el sentido atribuido a las fuerzas de roce (sea el cinético o el estático) cuando son ejercidas sobre superficies no lubricadas y en contacto. También se encuentran trabajos que describen cómo el uso de simulaciones en computadora ha resultado satisfactorio para una mayor motivación y comprensión de contenidos (Yamamoto y Barbeta, 2001) entre los que figura la fricción (ej. descripciones de un montaje experimental que

permite realizar gráficos de las fuerzas de roce en función del tiempo y determinar los coeficientes de rozamiento para distintos pares de superficies). Además, se han hallado investigaciones sobre cómo es tratado este tema en los libros más utilizados en la enseñanza universitaria y si ese abordaje contribuye a que las dificultades de los alumnos persistan y sean reforzadas o permiten que las mismas sean cuestionadas (Caldas y Saltiel, 1999).

En el desarrollo teórico de ciertos ejemplos, en los que los libros suelen considerar al rozamiento como despreciable, se encuentra que en los artículos de revistas de investigación educativa, éste es tenido en cuenta. Tal es el caso de la determinación experimental de la posición del centro de masa en función del rozamiento estático y del rozamiento cinético (Chernicoff et al., 2001), o el análisis de una simulación del movimiento de un cuerpo sobre un plano inclinado presentando como variable al coeficiente de rozamiento (Wehrbein, 1992; Cotignola et al., 1996; Arriasecq et al., 1999; Nunes et al., 2000; Santos et al., 2000).

También se estudian procesos de la vida cotidiana gobernados por la viscosidad, como el flujo de agua en tuberías; la caída de un cuerpo en un fluido discutiendo acerca de la fricción viscosa, entre otros tópicos (Guisasola et al., 1999) o la dinámica de un bloque que se desliza en un camino semicircular teniendo en cuenta tanto la fricción de Coulomb como la fricción viscosa (Mania et al., 2002).

En algunos artículos se evidencia la preocupación por averiguar “*lo que el alumno sabe sobre fuerza*” (Solano et al., 2000) aunque no se habla específicamente de fuerzas de rozamiento y en otros casos éstas aparecen como ejemplo de fuerzas sin dedicarle un tratamiento más minucioso. Se puede notar que dentro de los contenidos que presentan dificultades conceptuales se menciona, entre otros, al rozamiento (Barbeta y Yamamoto, 2002).

En los artículos seleccionados de las revistas especializadas en temas de Física hemos hallado que en muchos casos la fuerza de fricción aparece como un problema a resolver y se intenta comprender el complejo fundamento físico del comportamiento de los lubricantes.

Se encuentran explicaciones del roce a escala atómica que marcan la diferencia con el rozamiento a escala macroscópica; esto, de algún modo, permitiría modificar la idea intuitiva que asocia la fricción con la rugosidad de las superficies. Yendo mucho más allá de la dimensión de las asperezas de una y otra superficie en contacto, el interés de los científicos, al dirigirse hacia el nivel atómico, se orienta a diversos temas, entre los cuales pueden mencionarse: las orientaciones cristalinas, los fenómenos electrónicos asociados al deslizamiento (Krim et al., 1995) y el comportamiento de delgadas láminas de fluido confinadas entre dos superficies en movimiento relativo (Granick, 1999). Además, se hacen referencias a desarrollos interdisciplinarios, tales como el estudio de las inestabilidades geológicas, y de cuestiones relacionadas con la Biología (la influencia de la fricción en el diseño de dispositivos usados en Medicina, y en las partes móviles de los animales, por ejemplo).

Comentarios finales

Nuestra revisión de informes de investigación en tribología (trabajos tales como: Krim et al., 1995; Krim, 1996 a y b, 2002 a y b; Liebsch et al., 1999; Burns et al., 1999) nos ha llevado a advertir una distancia entre la visión científica del fenómeno y su presentación en los libros de texto. En estos últimos, el estudio queda casi siempre circunscrito al orden macroscópico, en el cual las explicaciones no exceden el ámbito de lo empírico. Lo que en nuestra opinión hace más cuestionable este enfoque, no es tanto que remita a la experimentación, como que omite mencionar la existencia de otros desarrollos teóricos sobre el tema.

La formación científica debería proporcionar los elementos básicos de las disciplinas científicas para que los lectores sean capaces de entender la realidad que les rodea (Campanario, 1999). Las revistas especializadas en Física contribuyen a ese objetivo y también ayudan a comprender el papel del conocimiento científico en nuestra sociedad. Podríamos decir que esto se refleja en los títulos de

ciertos artículos que mencionan al rozamiento ya que evidencian el interés por esclarecer fenómenos de la vida cotidiana, por ejemplo, teorías que explican el comportamiento y movimiento de pelotas (en diversos deportes), trompos, vehículos, discos, patinetas.

Las revistas y los libros de texto contienen las intenciones de los autores, pero en las revistas, a diferencia de los libros de texto, se observa un alejamiento del tratamiento tradicional y una mayor intención de dar a conocer nuevas propuestas; aquí quizás es más evidente el carácter provisional y tentativo de las teorías científicas; en los libros de texto aparecen las teorías y logros científicos que han resistido el paso del tiempo y solamente en algunos casos se mencionan las últimas novedades. De todos modos, con respecto al tema que nos ocupa las publicaciones y las investigaciones siguen siendo escasas. De acuerdo con Grnick (1999, p. 31) “*La fricción es algo tan común que sus connotaciones de impedimento, obstrucción y desecho han surgido en nuestro lenguaje lejos de la Física. Pero en los ámbitos académicos, los estudios de fricción son raros y están esparcidos entre varias disciplinas diferentes. La Física de la fricción tiene una genealogía corta (...) Una razón por la*

cual el progreso en la comprensión de la fricción ha sido lento, es la escasez de interacción entre físicos, ingenieros y químicos (...) Afortunadamente la tribología, que tiende puentes entre las disciplinas tradicionales, está ahora siendo beneficiada por un impulso hacia investigaciones de interdisciplinariedad compleja”. La tribología recibe, también, el impulso generado desde las preocupaciones empresariales, debido al impacto económico que tiene el rozamiento en los dispositivos industriales. El reclamo a la investigación, desde este ámbito, apunta a la dimensión macroscópica del fenómeno, dimensión que aún necesita de estudios que le permitan disponer de mayores conexiones con las investigaciones a escala atómica (Krim, 2002 b).

En particular, para el tema que nos ocupa, creemos apropiado cerrar este artículo haciendo expresa nuestra postura, en cuanto a que tanto los libros de texto como las revistas científicas de educación en Física deberían contribuir a que los lectores desarrollen ideas adecuadas sobre los conceptos, ya que constituyen un medio fundamental de comunicación de la ciencia y tienen enorme influencia en la construcción y articulación del conocimiento científico.

Referencias

- Alonso, M. y Finn, E. (1995). *Física*. USA: Addison-Wesley Iberoamericana.
- Arriasecq, I.; Lester, M. y Stipich, S. (1999). Cuerpo rígido: Experiencia de laboratorio con material de bajo costo. *Caderno Catarinense de Ens. Física*, 16 (1), pp. 92-100.
- Ausubel, D.; Novak, J. y Hanessian, H. (1983). *Psicología Educativa: Un punto de vista cognoscitivo*. México: Ed. Trillas.
- Barbeta, V. y Yamamoto, I. (2002). Dificuldades Conceituais em Física Apresentadas por Alunos Ingressantes em um Curso de Engenharia. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 24 (3), pp. 324-341.
- Burns, A.; Houston, J.; Carpick, R. y Michalske, T. (1999). Molecular Level Friction As Revealed with a Novel Scanning Probe. *Langmuir*, 15, pp. 2922-2930.
- Caldas, H. y Saltiel, E. (1999). Sentido das Forças de Atrito e Movimento -I. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 21 (3), pp. 359-365.
- Caldas, H. y Saltiel, E. (1999). Sentido das Forças de Atrito e Movimento -II uma Análise dos Livros Utilizados no Ensino Superior Brasileiro. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 21 (4), pp. 542-549.
- Campanario, J. (1999). La ciencia que no enseñamos. *Enseñanza de las ciencias*, 17 (3), pp. 397-410.
- Concari, S.; Pozzo, R. y Giorgi, S. (1995). La fuerza de rozamiento: Efecto retardador o acelerador del movimiento? *Memorias REF IX*. Salta, Argentina, pp. 468-476.

- Concari, S.; Pozzo, R. y Giorgi, S. (1999). Un estudio sobre el rozamiento en libros de Física de nivel universitario, *Enseñanza de las ciencias*, 17 (2), pp. 273-280.
- Concari, S. (2001). Las teorías y modelos en la explicación científica: Implicancias para la enseñanza de las ciencias. *Science & EducaVao*, 7 (1), pp. 85-94.
- Cotignola, M.; Rébora, G. y Punte, G. (1996). Utilización de distintos mediadores instrumentales para el cambio conceptual: Tratamiento del rozamiento estático. *Memorias III SIEF*. La Falda, Córdoba, Argentina, pp. 73-81.
- Cotignola, M.; Rébora, G.; Difazio, M. y Punte, G. (1998). Utilización de simulaciones integradas dentro de una estrategia didáctica específica. *IV Congresso RIBIE*. Brasilia, Brasil.
- Chernicoff, R.; Rubio, L.; Cáceres, R. y Rodríguez, O. (2001). Sencillo dispositivo para determinar la posición del centro de masa de un sistema. *Caderno Catarinense de Ens. Física*, 18 (1), pp. 52-55.
- Feynman, R.; Leighton, R. y Sands M. (1971). *Física Volumen I: Mecánica, radiación y calor*. USA: Fondo Educativo Interamericano.
- Gettys, W.; Keller, F. y Skove, M. (1994). *Física clásica y moderna*. Madrid: Mc Graw Hill.
- Granick, S. (1999). Soft matter in a tight spot, *Physics Today*, (7), pp. 26-39.
- Guisasola, J.; Barragués, J.; Valdés, P.; Valdés, R. y Pedroso, F. (1999). Getting students familiar with the use of computers: Study of the falling of a body in a fluid. *Phys. Educ.*, 34 (4), pp. 214-219.
- Hall, H. (1978). *Física del estado sólido*. México: Ed. Limusa.
- Islas, S. (1994). ¿Pueden cuestionarse las ideas previas de los estudiantes resolviendo problemas sobre un mundo ideal?. *Fifth IACPE*. Texas, USA.
- Islas, S. y Guridi, V. (1996). Exploración sobre fuerzas de roce y su tratamiento didáctico. *Memorias III SIEF*. La Falda, Córdoba, Argentina, pp. 99-104.
- Islas, S. y Guridi, V. (1997). Diagnóstico sobre conceptualización de fuerzas de roce en estudiantes avanzados del profesorado. *Caderno Catarinense de Ens. Física*, 14 (3), pp. 264-275.
- Islas, S. y Pesa, M. (2002). ¿Qué ideas tienen los profesores de Física de nivel medio respecto al modelado?. *Science & EducaVao*, 8 (1), pp. 13-26.
- Krim, J.; Daly, C. y Dayo, A. (1995). Electronic contributions to sliding friction. *Tribology Letters* 1, pp. 211-218.
- Krim, J. (1996 a). Friction at the Atomic Scale. *Scientific American*, 275 (4), pp. 74-80.
- Krim, J. (1996 b). Atomic-Scale Origins of Friction. *Langmuir*, 12, pp. 4564-4566.
- Krim, J. (2002 a). Surface science and the atomic-scale origins of friction: what once was old is new again. *Surface Science* 500, pp. 741-758.
- Krim, J. (2002 b). Friction at macroscopic and microscopic length scales. *Am. J. Phys*, 70 (9), pp. 890-897.
- Liebsch, A.; Gonçalves, S. y Kiwi, M. (1999). Electronic versus phononic friction of xenon on silver. *Physical Review*, 60 (7), pp. 5034-5043.
- Mania, A.; Mol, A. y Brandão, C. (2002). Sliding Block on a Semicircular Track with Friction. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 24 (3), pp. 312-316.
- Moreira, M. (1994). Cambio conceptual: Crítica a modelos actuales y una propuesta a la luz de la teoría del aprendizaje significativo. *Memorias II SIEF*. Buenos Aires, Argentina, pp. 295-305.
- Nunes, A. y Silva, J. (2000). Tilted boxes on inclined planes. *Am. J. Phys*, 68 (11), pp. 1042-1049.
- Pozo, J.; Coll, C.; Sarabia, B. y Valls, E. (1994). *Los contenidos en la reforma. Enseñanza y Aprendizaje de Conceptos, Procedimientos y Actitudes*. Bs. As.: Santillana.
- Pozo, J. y Gómez Crespo, M. (1998). *Aprender y enseñar ciencia*. Madrid: Morata.
- Saltiel, E. (1994). Razonamiento de los estudiantes sobre el rozamiento cinético: el arrastre. Conferencia, *Memorias II SIEF*. Buenos Aires, Argentina, pp. 10-12.
- Santos, G.; Otero, M. y Fanaro, M. (2000). ¿Cómo usar software de simulación en clases de Física?. *Caderno Catarinense de Ens. Física*, 17 (1), pp. 50-66.
- Solano, I.; Jiménez-Gómez, E. y Marín, N. (2000). Análisis de la metodología utilizada en la búsqueda de "lo que el alumno sabe" sobre Física. *Enseñanza de las ciencias*, 18 (2), pp. 171-188.
- Wehrbein, W. (1992). Frictional forces on an inclined plane. *Am. J. Phys*, 60 (1), pp. 57-58.
- Yamamoto, I. y Barbeto, V. (2001). Simulações de Experiências como Ferramenta de Demonstração Virtual em Aulas de Teoria de Física. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 23 (2), pp. 215-225.

ANEXO

Libros de texto examinados

Total: 17 (diecisiete)

Libros de física básica utilizados en universidades:

- 1- Alonso, M.; Finn, E. (1995). *Física*. USA: Addison-Wesley Iberoamericana.
 - 2- Feynman, R.; Leighton, R.; Sands M. (1987). *Física Vol. I*. USA: Addison-Wesley Iberoamericana.
 - 3- Gettys, W.; Keller, F.; Skove, M. (1994). *Física clásica y moderna*. España: McGraw-Hill.
 - 4- Resnick, R.; Halliday, D.; Krane, K. (1996). *Física. Vol. 1*. México: CECSA.
 - 5- Serway, R. (1993). *Física I*. México: McGraw-Hill.
 - 6- Tipler, P. (1978). *Física I*. España: Reverté.
- Subtotal: 6 (seis) textos*

Libros para estudiantes de polimodal:

- 7- Arístegui, R.; Baredes, C.; Dasso, J.; Delmonte, J.; Fernández, D.; Silva, A.; Sobico, C. (1999). *Física I*. Bs. As.: Santillana.
 - 8- Arístegui, R.; Baredes, C.; Fernández, D.; Silva, A.; Sobico, C. (2000). *Física II*. Bs. As.: Santillana.
 - 9- Hecht, E. (1987). *Física en Perspectiva*. USA: Addison-Wesley Iberoamericana.
 - 10- Hewitt, P. (1997). *Física Conceptual*. USA: Addison-Wesley Iberoamericana.
 - 11- Miguel, H. (1997). *El Universo de la Física*. Bs. As.: El Ateneo.
 - 12- Rela, A.; Strajman, J. (1998). *Física I*. Bs. As.: Aique.
- Subtotal: 6 (seis) textos*

Libros para estudiantes de EGB:

- 13- Aletti, S.; Baredes, C.; Jaul, M.; Sobico, C.; Verza, A.; Taddei, F. (2000). *Ciencias Naturales. 7° EGB*. Bs. As.: Santillana.
 - 14- Arístegui, R.; Barderi, M.; Cittadino, E.; Cuniglio, F.; Delmonte, J.; Fernández, E.; Granieri, P.; Morales, E.; Rinaldi, M.; Schipani, F. (1997). *Ciencias Naturales 8*. Bs. As.: Santillana.
 - 15- Bachrach, E.; Bilenca, D.; Bosack, A.; Fernández, E.; Morales, E.; Schipani, F.; Taddei, F. (1997). *Ciencias Naturales 9*. Bs. As.: Santillana.
 - 16- Carreras, N.; Conti, O.; Fernández, C.; Lantz, M.; Milano, C.; de Oliver, C. (2001). *Ciencias Naturales Activa. 7° EGB*. Bs. As.: Puerto de Palos. Casa de Ediciones.
 - 17- Reynoso, L. (1997). *Física. EGB 3*. Bs. As.: Plus Ultra.
- Subtotal: 5 (cinco) textos*

Artículos seleccionados de las Revistas Científicas

Total: 9 (nueve) publicaciones; 44 (cuarenta y cuatro) artículos.

1- American Journal of Physics <http://ojps.aip.org/ajp/>.

- 1-A1- Soodak, H. (2002). A geometric theory of rapidly spinning tops, tippe tops, and footballs, *Am. J. Phys*, 70 (8), pp. 815-828.
- 1-A2- Wick, D.; Ramsdell, M. (2002). Modeling the motion of a toy car traveling on an arbitrarily shaped track, *Am. J. Phys*, 70 (7), pp. 670-679.
- 1-A3- Cross, R. (2002). Grip-slip behavior of a bouncing ball, *Am. J. Phys*, 70 (11), pp. 1093-1102.
- 1-A4- Cross, R. (2002). Measurements of the horizontal coefficient of restitution for a superball and a tennis ball, *Am. J. Phys*, 70 (5), pp. 482-489.
- 1-A5- Petrie, D.; Hunt, J.; Gray, C. (2002). Does the Euler Disk slip during its motion?, *Am. J. Phys*, 70 (10), pp. 1025-1028.
- 1-A6- Cross, R. (2000). Tension loss along a string, *Am. J. Phys*, 68 (12), pp. 1152-1153.
- 1-A7- Nunes, A.; Silva, J. (2000). Tilted boxes on inclined planes, *Am. J. Phys*, 68 (11), pp. 1042-1049.
- 1-A8- Krim, J. (2002 *b*). Friction at macroscopic and microscopic length scales, *Am. J. Phys*, 70 (9), pp. 890-897.
- 1-A9- Rebhan, E. (2002). Efficiency of nonideal Carnot engines with friction and heat losses, *Am. J. Phys*,

70 (11), pp. 1143-1149.

1-A10- Chandralekha, S. (2002). When Physical intuition fails, *Am. J. Phys.*, 70 (11), pp. 1103-1109.

1-A27- Cross, R. (1999). Role of the centrifugal force in vehicle roll, *Am. J. Phys.*, 67 (5), pp. 447-448.

1-A28- Andereck, B. (1999). Measurements of air resistance on an air track, *Am. J. Phys.*, 67 (6), pp. 528-533.

1-A29- Penner, R. (2001). The physics of sliding cylinders and curling rock, *Am. J. Phys.*, 69 (3), pp. 332-339.

1-A43- Eunsook, K.; Sung-Jae, P. (2002). Students do not overcome conceptual difficulties after solving 1000 traditional problems, *Am. J. Phys.*, 70 (7), pp. 759-765.

1-A44- Bao, L.; Hogg, K.; Zollman, D. (2002). Model analysis of fine structures of student models: An example with Newton's Third law, *Am. J. Phys.*, 70 (7), pp. 766-788.

Subtotal: 15 (quince) artículos

2-Physics Education <http://www.iop.org/EJ/journal/PhysEd>

2-A11- Robinson, D. (1999). Newtonian exercise on a snake board, *Phys. Educ.*, 34 (4), pp. 232-237.

2-A12- Czuková, L.; Musilová, J. (2000). Physics in a lift and on a turntable, *Phys. Educ.*, 35 (1), pp. 22-29.

2-A13- Basta, M.; Di Gennaro, M.; Picciarelli, V. (1999). A desktop apparatus for studying rolling motion, *Phys. Educ.*, 34 (6), pp. 371-375.

2-A14- Guisasaola, J.; Barragués, J.; Valdés, P.; Valdés, R.; Pedroso, F. (1999). Getting students familiar with the use of computers: Study of the falling of a body in a fluid, *Phys. Educ.*, 34 (4), pp. 214-219.

2-A15- Agrawal, D.; Menon, V. (1999). Thanks to the three viscous formulae, *Phys. Educ.*, 34 (3), pp. 149-152.

2-A16- Mills, D.; McKittrick, P.; Mulhall, P.; Feteris, S. (1999). CUP: Cooperative learning that works, *Phys. Educ.*, 34 (1), pp. 11-16.

2-A17- Savinainen, A.; Scott, P. (2002). The Force Concept Inventory: a tool for monitoring student learning, *Phys. Educ.*, 37 (1), pp. 45-52.

2-A18- Savinainen, A.; Scott, P. (2002). Using the Force Concept Inventory to monitor student learning and to plan teaching, *Phys. Educ.*, 37 (1), pp. 53-58.

2-A19- Hart, C. (2002). If the sun burns you is that a force? Some definitional prerequisites for understanding Newton's Laws, *Phys. Educ.*, 37 (3), pp. 234-238.

Subtotal: 9 (nueve) artículos

3- Enseñanza de las Ciencias <http://www.campus-oei.org/es21.htm>

3-A20- Concari, S.; Pozzo, R.; Giorgi, S. (1999). Un estudio sobre el rozamiento en libros de Física de nivel universitario, *Enseñanza de las ciencias*, 17 (2), pp. 273-280.

3-A21- Solano, I.; Jiménez-Gómez, E.; Marín, N. (2000). Análisis de la metodología utilizada en la búsqueda de "lo que el alumno sabe" sobre Física, *Enseñanza de las ciencias*, 18 (2), pp. 171-188.

3-A42- Ciliberti, N.; Galagovsky, L. (1999). Las redes conceptuales como instrumento para valorar el nivel de aprendizaje conceptual de los alumnos. Un ejemplo para el tema de dinámica, *Enseñanza de las ciencias*, 17 (1), pp. 17-29.

Subtotal: 3 (tres) artículos

4-Caderno Catarinense de Ensino de Física http://www.ufsc.br/cccef/port/cad/p_cad.html

4-A22- Caldas, H.; Magalhães, M. (2000). Rolamento sem escorregamento: atrito estático ou atrito de rolamento?, *Cad. Cat. Ens. Fís.*, 17 (3), pp. 257-269.

4-A23- Chernicoff, R.; Rubio, L.; Cáceres, R.; Rodríguez, O. (2001). Sencillo dispositivo para determinar la posición del centro de masa de un sistema, *Cad. Cat. Ens. Fís.*, 18 (1), pp. 52-55.

4-A24- Cunha, A.; Caldas, H. (2000). Sentido das forças de atrito e os livros de 8º serie, *Cad. Cat. Ens. Fís.*, 17 (1), pp. 7-21.

4-A25- Santos, G.; Otero, M.; Fanaro, M. (2000). ¿Cómo usar software de simulación en clases de Física?, *Cad. Cat. Ens. Fís.*, 17 (1), pp. 50-66.

4-A41- Arriasecq, I.; Lester, M.; Stipich, S. (1999). Cuerpo rígido: Experiencia de laboratorio con material de bajo costo, *Cad. Cat. Ens. Fís.*, 16 (1), pp. 92-100.

Subtotal: 5 (cinco) artículos

5- Journal of Research in Science Teaching

<http://www3.interscience.wiley.com/cgi-bin/abstract/7400031/ABSTRACT>

5-A26- Tao, P.; Gunstone, R. (1999). The process of conceptual change in force and motion during computer-supported physics instruction, *Journal of Research in Science Teaching*, 36 (7), pp. 859-882.

Subtotal: 1(un) artículo

6- Physics Today <http://www.physicstoday.org/pastiss99.html>

6-A30- Granick, S. (1999). Soft matter in a tight spot, *Physics Today*, (7), pp. 26-39.

Subtotal: 1(un) artículo

7- Revista Brasileira de Ensino de Física <http://www.sbfisica.org.br/rbef/>.

7-A31- de Almeida, M.; da Silva, H.; Cavanha, C. (1999). O movimento, a mecânica e a Física no Ensino Médio, *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 21 (1), pp. 195-201.

7-A32- Caldas, H.; Saltiel, E. (1999). Sentido das Forças de Atrito e Movimento -I, *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 21 (3), pp. 359-365.

7-A33- Silva, M.; Axt, R. (1999). Rolamento de Carretéis Sobre um Plano Inclinado, *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 21 (3), pp. 408-414.

7-A34- Caldas, H.; Saltiel, E. (1999). Sentido das Forças de Atrito e Movimento -II uma Análise dos Livros Utilizados no Ensino Superior Brasileiro, *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 21 (4), pp. 542-549.

7-A35- Leal Ferreira, G. (2000). Estudo Simplificado do Movimento do Pião com Rotação Constante ou Variável, *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 22 (4), pp. 568-571.

7-A36- Yamamoto, I.; Barbeta, V. (2001). Simulações de Experiências como Ferramenta de Demonstração Virtual em Aulas de Teoria de Física, *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 23 (2), pp. 215-225.

7-A37- Barros, K.; Amorim, A. (2001). Perfil de Velocidade para o Escoamento de Fluido em uma Placa Plana, *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 23 (2), pp. 312-316.

7-A38- Fonseca Mossmann, V.; Berra, K.; Libardi, H.; Damo, I. (2002). Determinação dos Coeficientes de Atrito Estático e Cinético Utilizando-se a Aquisição Automática de Dados, *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 24 (2), pp. 146-149.

7-A39- Mania, A.; Mol, A.; Brandão, C. (2002). Sliding Block on a Semicircular Track with Friction, *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 24 (3), pp. 312-316.

7-A40- Barbeta, V.; Yamamoto, I. (2002). Dificuldades Conceituais em Física Apresentadas por Alunos Ingressantes em um Curso de Engenharia, *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 24 (3), pp. 324-341.

Subtotal: 10 (diez) artículos

8- Investigações em Ensino de Ciências <http://www.if.ufrgs.br/public/ensino>.

No presenta artículos relacionados con el tema en estudio.

9- Science & Education. <http://kapis.www.wkap.nl/kapis/CGI-BIN/WORLD/journalhome.htm?0926-7220>.

No presenta artículos relacionados con el tema en estudio.