

Dificultades y oportunidades para la enseñanza de la fuerza de fricción

Rolando A. Díaz-Delgado^{1,2*}, María José Carreño-Matus^{1,2}

Resumen

A pesar de que la fuerza de fricción es una de las fuerzas que se manifiesta con mayor frecuencia en las interacciones entre cuerpos sólidos, líquidos, gaseosos o una combinación de estos en la vida cotidiana, resulta muy habitual que su enseñanza en el sistema educacional formal a cualquier nivel padece de ciertas deficiencias que conduce a dificultades en el proceso de enseñanza por los docentes y en el de su aprendizaje por parte de los estudiantes. El tratamiento de este tema en la mayor parte de los libros de texto ya sea para el nivel de enseñanza media o universitaria, se caracteriza por su superficialidad, baja rigurosidad e incluso por incluir errores conceptuales significativos. En una cantidad considerable de textos se expresa erróneamente que la fuerza de fricción siempre se opone al movimiento, se asocia el roce cinético al movimiento de un cuerpo en contacto con otro y no a que las superficies de ambos cuerpos se deslizan una respecto a la otra, no se aborda con claridad el carácter empírico de las expresiones que describen dicha fuerza y no se discute con profundidad su relación con la tercera ley de Newton de la acción y reacción. En este documento se discuten los aspectos mencionados y se presentan algunas oportunidades para mejorar la enseñanza de este concepto y facilitar su comprensión por parte del estudiantado, teniendo en cuenta los resultados de diversas investigaciones sobre el tema.

Palabras clave: Fuerza de fricción, dificultades de enseñanza, actividades de aprendizaje

1 Departamento de Estudios Pedagógicos, Universidad de Chile

2 Sociedad Chilena de Enseñanza de la Física, SOCHEF.

rolandodiaz@uchile.cl, maria.carreno@uchile.cl

1. Introducción

La fuerza de fricción está presente en la mayor parte de los fenómenos que se experimentan en la vida cotidiana, sin embargo, su enseñanza en el sistema educacional formal a cualquier nivel se aborda con gran frecuencia de forma superficial, fraccionada o simplemente se elude su tratamiento. Como señalan Islas y Guridi (1997) “la simplificación derivada de considerar despreciables a las fr suele manejarse acríticamente, casi como una rutina para evitar complicaciones en la formalización matemática” (p.265). Por otra parte, Concari et al. (1995) comentan que “en el abordaje habitual de los libros de texto y en la curricula de cursos de física básica del tema de mecánica, el rozamiento es un tema casi marginal que se desarrolla en forma incoherente, parcial y fragmentada en distintos capítulos” (p.468). Además, se ha destacado que hay grandes deficiencias en el tratamiento por parte del profesorado de las fuerzas de fricción en objetos que se deslizan en comparación con objetos que ruedan (Carvalho y Sousa, 2005).

La noción de fricción genera una influencia confusa en las experiencias cotidianas de movimiento porque las personas con frecuencia no son conscientes de que la fricción es una fuerza. Los estudiantes en general no consideran en su vida cotidiana a la fricción por sí misma como algo relacionado con las fuerzas y tampoco reconocen su presencia cuando los cuerpos no están en movimiento, como el caso de un cuerpo detenido y estático en medio de una pendiente (Figura 1). O no identifican las causas del por qué no se desatan los nudos en una cuerda (Figura 2) y por qué resulta tan difícil sacar un clavo luego de estar fijado en un trozo de madera (Figura 3).

Figura 1

Auto estacionado en una pendiente



Figura 2

Nudos en una cuerda



Figura 3

Tratando de sacar un clavo



2. Metodología

Por ejemplo, al tirar de una cuerda se habla de fuerza de tensión, pero no se menciona la fuerza de fricción entre la mano y la cuerda que lo permite. No se plantean preguntas como ¿por qué no se desatan los nudos?, ¿por qué es tan difícil sacar un clavo una vez que ya fue fijado en un trozo de madera? De este modo, la noción de fricción en las personas en general y en el estudiantado en particular se encuentra afectada por muy diversas interpretaciones.

Se puede decir que la mecánica clásica y en particular la dinámica es uno de los tópicos más importantes en los cursos de física, específicamente uno de los conceptos centrales de la física es el de fuerza (Fischer y Neumann, 2023), al que se le dedica con frecuencia una cantidad de tiempo bastante mayor que a otros contenidos de esta ciencia (Carvalho y Sousa 2005). No obstante, los estudiantes de nivel secundario al finalizar sus cursos de física siguen mostrando dificultades en la comprensión de situaciones básicas, especialmente aquéllas que se relacionan con las fuerzas de fricción, aspecto al que con frecuencia se dedica poco tiempo, se aborda de forma fraccionada y con un enfoque tradicional.

En este estudio se entenderá la fuerza de fricción como aquélla que surge como resultado de la interacción entre las superficies de dos cuerpos en contacto físico al ocurrir o intentar ocurrir un desplazamiento relativo entre ellas de modo que se opone a dicho desplazamiento relativo. Este documento tiene el objetivo de presentar un resumen de las principales dificultades que se presentan en el proceso de enseñanza y aprendizaje del fenómeno de la fuerza de fricción y se sugieren algunas actividades para facilitar dicho proceso (oportunidades), donde se destaca la importancia de la identificación de la fuerza de fricción y su naturaleza empírica. Este documento es una ampliación de lo tratado por Díaz-Delgado y Maringer-Duran (2021) con respecto a la enseñanza del concepto de fuerza.

Dificultades en el proceso de enseñanza y aprendizaje de la fuerza de fricción

Se presentan ahora diversas dificultades que se han evidenciado en varias fuentes consultadas.

Ideas previas inadecuadas frecuentes sobre la fuerza de fricción

Diversas investigaciones han destacado las dificultades que presentan los estudiantes en la comprensión de la noción de la fuerza de fricción entre sólidos (Caldas, 1994; Caldas y Saltiel, 1995; Caldas y Saltiel, 2000a). Aquéllas han mostrado que los estudiantes tienen un conocimiento insuficiente de la noción de rozamiento y sus características (Driver et al., 1985; Salazar et al., 2002; Besson et al., 2007). Además hay estudios que concluyen que la enseñanza de estos conceptos se ha abordado de forma parcial y con inconsistencias significativas (López y Covaleda 2005; Hincapié, 2011) y otros donde se señala que parte del profesorado en ejercicio y estudiantes de pedagogía en física poseen ideas previas (erradas) similares a las que tienen los estudiantes sobre la fuerza de fricción (Carvalho y Sousa, 2005; De Ambrosis et al., 2015) y en otro estudio se menciona que la mayor parte del profesorado no está familiarizado con los avances en el conocimiento de los mecanismos involucrados en el fenómeno de la fricción (Besson et al., 2007).

Entre las ideas previas inadecuadas más frecuentes sobre el fenómeno de la fricción, que no se corresponden con el conocimiento científico aceptado, se encuentran las mostradas en la Tabla 1, con base en lo indicado por Chia (1996), Liu y Fang (2016) y en la experiencia docente de los autores del presente documento.

Tabla 1

Ideas previas inadecuadas más frecuentes sobre la fuerza de fricción

1	Cuando un cuerpo permanece en reposo, siempre actúa sobre él una fuerza de rozamiento constante e igual a $f = \mu N$ (N : fuerza normal).
2	Cuando un objeto permanece en reposo, aunque actúe sobre él una fuerza externa, la fuerza de rozamiento que actúa sobre el objeto es siempre igual a cero.
3	Cuando un hombre está caminando hacia adelante, la fuerza de fricción que actúa sobre el hombre por el suelo siempre apunta la dirección hacia atrás.
4	Cuando una persona está pedaleando en una bicicleta, la fuerza de rozamiento que actúa sobre la rueda trasera de la bicicleta apunta en la dirección hacia atrás.
5	Cuando el ciclista gira su bicicleta en la esquina de la carretera, la fuerza de rozamiento que actúa sobre la rueda delantera apunta en la dirección hacia fuera.
6	La fricción siempre dificulta el movimiento.
7	El roce se considera que siempre está en oposición al movimiento de un cuerpo, no al movimiento relativo entre los cuerpos que están en contacto.
9	No se considera posible que el rozamiento pueda tener un papel impulsor sino solo resistente.
10	Se piensa que la fricción solo actúa sobre el objeto en movimiento o al cual se estimula para su movimiento.
11	Se considera que un cuerpo sólido puede arrastrar a otro sin que se requiera para ello de la existencia de una fuerza de roce (se piensa que es por el efecto de arrastre).
12	No se reconoce el cumplimiento de la ley de acción y reacción para la fuerza de fricción.
13	El rozamiento es representado por una sola fuerza puesta en la superficie de contacto
14	En el caso de movimiento horizontal de dos objetos colocados uno encima del otro, con una fuerza externa aplicada a uno de los dos, se considera que la fuerza de fricción actúa sobre el cuerpo de arriba y rara vez que actúa también sobre el de abajo
15	En el caso del movimiento vertical (un objeto apoyado sobre una superficie vertical; un cilindro colocado dentro de un anillo), la mayor parte del estudiantado no identifica la presencia de la fuerza de fricción en dirección vertical.

Dificultades que se presentan en los libros de texto

Se considera por muchos especialistas en educación que los libros de texto constituyen un material educativo de apoyo al proceso de enseñanza que influye fuertemente en el aprendizaje del estudiantado y condiciona el enfoque didáctico del profesorado (Arcodía e Islas, 2011; Concari et al., 1999; Cunha y Caldas, 2000; Islas y Guridi, 1999; Portolés et al., 1993). Por otra parte, Caldas et al. (2000) señalan que “las diferentes investigaciones indican que el profesor funciona como un enlace entre los alumnos y los textos didácticos y, a partir de éstos, prepara sus clases, escoge las cuestiones a discutir y monta sus actividades en el aula” (p.134). Dado lo anterior, resulta de gran importancia tener en consideración el siguiente comentario: “así, parece indiscutible la relevancia del papel desempeñado por los libros de texto en el proceso de adquisición del conocimiento y de cómo estos pueden contribuir, positiva o negativamente, a la formación o permanencia de las llamadas concepciones de sentido común y de los modos de razonamiento de estudiantes y profesores” (Caldas et al., 2000, p.134).

En consecuencia, se sugiere al profesorado considerar la manera particular de abordar los contenidos vinculados a la fricción en los libros de texto usados, ya que la mayoría de las veces son los referentes directos del contenido que se desarrolla en el aula, de los ejemplos que se utilizan, de los problemas que se resuelven y de los que se proponen a los estudiantes (Concari et al., 1999). Los docentes con mucha frecuencia extraen de los libros de texto los enunciados de los problemas y los diseños experimentales que luego utilizan en sus clases y es poco frecuente que sea el propio profesor quien elabore esos enunciados y diseños (Islas y Guridi, 1999). La dificultad principal que trae lo anterior consiste en que la mayor parte de los libros de texto utilizados, tanto en la enseñanza media como en la universitaria, presentan la fuerza de fricción de forma poco rigurosa, superficial y fraccionada en distintos capítulos e incluso con errores conceptuales importantes. En resumen, se sugiere que el profesorado elija cuidadosamente el o los libros de textos que usará para sus clases sobre el fenómeno de la fricción y que señale o discuta en sus clases las ideas inadecuadas y las limitaciones que aparezcan en los mismos.

Se considera sorprendente que en casi ningún libro de texto se trate, para el contacto entre cuerpos sólidos, la diferencia significativa que existe entre el roce por deslizamiento y el roce por rodadura, considerando desde sus orígenes históricos, el inmenso salto tecnológico que significó para la humanidad el paso del deslizamiento a la rodadura debido al aumento de la facilidad y la disminución de empleo de energía para el desplazamiento de cuerpos con elevada masa. Se puede entender que entre las diversas causas posibles de ello se encuentre la complejidad y dificultad conceptual del fenómeno de rodadura, por un lado y el aumento de la cantidad de temas a trabajar que ello implicaría en el ya saturado horizonte temático de la física escolar.

La fuerza de fricción en las bases curriculares del Ministerio de Educación (MINEDUC) de Chile

El tratamiento de la fuerza de fricción en las bases curriculares del MINEDUC en Chile y muy probablemente en una gran cantidad de países, como se puede interpretar de lo que aparece en la

literatura especializada publicada a nivel mundial (Cunha y Caldas, 2000; Caldas y Saltiel, 2000a; Besson, 1997), presenta las características ya mencionadas pues su tratamiento es superficial y fraccionado (MINEDUC, 2015). A continuación, se detalla en qué niveles se presenta el tratamiento de la fuerza de fricción en Chile.

Se aborda la fuerza de fricción por primera vez en ciencias naturales en el nivel de cuarto básico (estudiantes de 9 o 10 años) (MINEDUC, 2013) con diversas actividades donde se comparan, por medio de la experimentación, los efectos de la fuerza de fricción en el movimiento de un objeto sobre diferentes superficies, por ejemplo lija, madera, papel corrugado, entre otras y extraen conclusiones, donde describen las observaciones del efecto de la fuerza de fricción sobre un objeto en movimiento y dibujan las fuerzas que actúan sobre un cuerpo que es arrastrado por una superficie horizontal. Sin embargo, en la actualización de la priorización curricular del 2023 (MINEDUC, 2023) se ha eliminado por completo su tratamiento.

Retomando las bases curriculares, se aborda en el nivel de séptimo básico (estudiantes de 12 o 13 años) (MINEDUC, 2015) en el objetivo de aprendizaje siete (OA-7) que plantea “planificar y conducir una investigación experimental para proveer evidencias que expliquen los efectos de las fuerzas gravitacional, de roce y elástica, entre otras, en situaciones cotidianas” (p.146) en donde se trabajan los tópicos: a) describen la fuerza de roce (estática, cinética y con el aire), considerando su efecto en objetos en situaciones cotidianas y los factores de los que depende; b) realizan investigaciones sobre los efectos de fuerzas como la gravitacional, la de roce y la elástica sobre objetos, en contextos cotidianos. Se trabajan actividades de roce entre dos sólidos y entre sólidos y gases. Se discute el roce estático y el roce cinético en la fricción por deslizamiento y las leyes de hace más de 200 años, pero sin destacar que son empíricas y que se refieren específicamente al roce por deslizamiento. No se presenta la relación entre la fuerza normal, el peso de los cuerpos y la fuerza de roce, pero se discute la influencia del roce por el tipo de superficie, los materiales de los cuerpos en contacto y el área de contacto.

Vuelve a aparecer la fuerza de fricción en segundo medio (estudiantes de 15 a 16 años) (MINEDUC, 2016), pero de manera superficial, pues solo se aborda una actividad sobre ventajas y desventajas del roce para el paracaídas y en otra actividad se supone despreciable el roce. Y eso es todo. No se presenta o discute nunca la diferencia entre el roce por deslizamiento y el roce por rodadura, a pesar de su gran importancia y sus aplicaciones diversas, como la rueda y el uso de cuerpos cilíndricos para facilitar el desplazamiento de cuerpos pesados. Todo lo anterior, permite evidenciar la fragmentación del tratamiento de la fuerza de fricción en el currículo chileno.

Oportunidades en el proceso de enseñanza y aprendizaje de la fuerza de fricción

Se discuten a continuación algunas oportunidades que consideramos pueden aprovecharse para intentar producir mejoras en el proceso de enseñanza y aprendizaje de la fuerza de roce o fricción

El desarrollo histórico del concepto de la fuerza de fricción y su naturaleza empírica

La importancia del uso del enfoque histórico del desarrollo del conocimiento científico para la enseñanza de la física se ha estudiado y discutido en una gran parte de la literatura (Texeira et al., 2012; Besson, 2013; Díaz-Delgado y Maringer-Duran, 2021) y existe consenso en que favorece

una actitud crítica en el estudiantado y una visión de la ciencia como una actividad esencialmente humana en evolución, entre otros aspectos, por ello se sugiere que el profesorado lo tenga en cuenta en sus diseños de actividades educacionales.

En el caso de la fuerza de fricción existe un conocimiento reducido entre los y las docentes de su origen, naturaleza y desarrollo. Hace algunos años se conoce que, a partir de 1493, Leonardo da Vinci realizó el primer estudio sistemático en la historia del fenómeno de la fricción, que ha sustentado la ciencia moderna de la tribología (ciencia que estudia la fricción, el desgaste y la lubricación, comprendiendo la interacción de las superficies en movimiento relativo, en sistemas naturales y artificiales) (Hutchings, 2016). Los trabajos de Da Vinci se enmarcaron en la fricción por deslizamiento en los casos de la resistencia a la rotación de los ejes y la mecánica de las roscas de los tornillos. Además, Leonardo repitió y amplió sus afirmaciones sobre la fricción de los cuerpos que se deslizan sobre superficies horizontales, pero también consideró el deslizamiento rotacional (por ejemplo, la rotación de un eje en un cojinete liso, que consideró correctamente análogo al deslizamiento sobre un plano) y el movimiento de rodadura.

Según Hutchings (2016) los dibujos y textos de Leonardo relacionados con la fricción muestran que entendió perfectamente sus fundamentos en 1493. Leonardo sabía que la fuerza de fricción que actúa entre dos superficies de cuerpos sólidos en deslizamiento es proporcional a la carga de presión de las superficies juntas y que la fricción es independiente del área aparente de contacto entre dichas superficies. Estas son precisamente las leyes de la fricción que fueron establecidas por el francés Guillaume Amontons, pero doscientos años más tarde y sin haber conocido los resultados de Da Vinci (Amontons, 1699). La investigación también muestra que Da Vinci aplicó este conocimiento repetidamente a problemas mecánicos durante más de 20 años.

Leonardo también descubrió que, en el caso especial de tela rugosa, las asperezas muy flexibles se deforman bajo una presión de contacto elevada, de modo que la fuerza de fricción ya no será independiente de la superficie de contacto aparente a medida que aumenta la presión. Resulta sorprendente que este descubrimiento no se utilice en la enseñanza al mostrar las complejidades del comportamiento de la fuerza de fricción en su tratamiento como una ley empírica.

En Besson (2013) se ofrece una amplia síntesis del desarrollo histórico de los modelos científicos y las teorías sobre la fricción por deslizamiento orientada a su empleo como recurso pedagógico para su uso en la enseñanza y aprendizaje de este fenómeno. Se recomienda que los y las docentes consulten dicho documento para facilitar y enriquecer el diseño de las clases sobre este tema con el uso del enfoque histórico.

Algunos enfoques para la enseñanza de la fuerza de fricción

En la investigación internacional acerca de los enfoques y estrategias de la enseñanza del fenómeno de la fuerza de fricción, sus características y efectos en el movimiento de los cuerpos se han encontrado un número reducido de estudios. Caldas y Saltiel (2000b) propusieron una secuencia de enseñanza basada en el empleo de un modelo del mecanismo de fricción específico, el del cepillo. Ringlein y Robbins (2004) desarrollaron un enfoque de enseñanza de la fricción entre sólidos para estudiantes universitarios que se basa en el uso de simulaciones por computador de las interacciones a escala atómica de las superficies en contacto. Carvalho y Sousa (2005)

analizaron las principales dificultades en la comprensión de la fuerza de fricción en cuerpos que ruedan y sugirieron estrategias de enseñanza basadas en la resolución de problemas, con el objetivo de asegurar el aprendizaje significativo del tema. Corpuz y Rebello (2006) realizaron un estudio del progreso de la construcción y reconstrucción de modelos mentales de la explicación microscópica de la fricción en estudiantes universitarios que les sirvió de orientación para el desarrollo de material instruccional al respecto. Hincapié (2011) presentó una propuesta didáctica, para estudiantes de enseñanza media en Colombia, que tiene 3 fases: una clase magistral centrada en la predicción, una sesión de laboratorio y una sesión de simulaciones interactivas.

Por otra parte, hay que destacar la investigación llevada a cabo por Besson et al. (2010) como una de las propuestas de secuencia de enseñanza más completa en el tema de las fuerzas de fricción. Esta secuencia considera tres dimensiones: el análisis de la investigación didáctica en el tópico específico, un panorama de los enfoques usualmente empleados y un análisis crítico del contenido considerando su desarrollo histórico. Se indica que la secuencia considera una amplia variedad de fenómenos de fricción que facilitan la motivación inicial y estimulan una amplia visión del contenido en combinación con el desarrollo de observaciones interrelacionadas, experimentos reales y virtuales, y aspectos teóricos usando modelos estructurales relacionados con representaciones visuales que ayudan a la construcción de modelos mentales de los diversos mecanismos de la fricción por el estudiantado. La secuencia se diseñó con una estructura de fuente abierta con un núcleo de contenidos, relaciones conceptuales y estrategias metodológicas por una parte y por otra una nube de elementos que pueden ser rediseñados por los y las docentes que la usen.

Por último, De Ambrosis et al. (2015) diseñaron una secuencia de enseñanza para estudiantes de un curso introductorio de física que se validó con estudiantes de pedagogía en física en Italia y se centró en el papel de la fuerza de fricción por deslizamiento en diferentes casos de movimiento por rodadura que combina análisis de diversos ejemplos, realización de experimentos reales, análisis de videos, uso de simulaciones interactivas y una actividad de investigación guiada. Más recientemente Malgieri et al. (2016) reportaron el rediseño de esta secuencia basado en la evaluación de su aplicación con estudiantes de pedagogía en física. Además, Budini et al. (2019) reportan los resultados de una experiencia sobre la aplicación de estrategias colaborativas bajo el marco de la instrucción entre pares acerca de actividades disparadoras que involucran las leyes de Newton aplicadas a sistemas físicos puntuales en los cuales actúa la fuerza de fricción con estudiantes del ciclo inicial universitario en un curso de introducción a la física de la Universidad Nacional del Litoral en Argentina. En este trabajo se concluye que la discusión entre pares promueve el aprendizaje y que a partir de las actividades desarrolladas se puede inferir que los alumnos asumen que los efectos que pueden producir estas fuerzas pueden ser retardadores o aceleradores del movimiento en los sistemas físicos.

Recomendaciones para la enseñanza de la fuerza de fricción

Se sugiere brindar inicialmente una visión amplia del fenómeno de la fuerza de fricción señalando que se manifiesta en mayor o menor medida cuando dos cuerpos o medios se desplazan o lo intentan, uno respecto del otro, ya sea que ambos sean sólidos, líquidos, gaseosos o sus distintas combinaciones. Abordando la existencia y características de la fuerza de fricción entre sólidos y fluidos (o entre las capas de los fluidos). Se deben presentar diversos ejemplos prácticos como la

interacción sólido - sólido por deslizamiento (arrastrando un cuerpo sobre otro) y por rodadura (mostrando esferas y cilindros descendiendo por un plano inclinado), sólido - líquido (dejando caer una canica o un dado en recipientes con líquidos de distinta viscosidad) y sólido con gas (dejando caer discos o tarjetas con distinta masa y superficie a través del aire). Se recomienda presentar y analizar las características de la fricción por deslizamiento y por rodadura, estableciendo claramente las diferencias entre ambos (De Ambrosis et al., 2015; Malgieri et al., 2016).

Identificar las ideas previas del estudiantado en cada tópico abordado, considerando aquéllas que se han detectado en diversas investigaciones y tenerlas en cuenta en el diseño de las actividades de aprendizaje. Diseñar actividades de aprendizaje diversas con un enfoque fenomenológico donde el estudiantado perciba y sienta personalmente la fuerza de fricción, usando de forma sistemática el procedimiento Predecir, Observar, Explicar (POE) (o Interactive Lecture Demonstrations, Sokoloff y Thornton, 2017) promoviendo la cooperación entre pares para fundamentar y explicar el fenómeno observado.

Incorporar el enfoque histórico de la evolución del conocimiento científico sobre la fuerza de fricción en donde se enseñe de manera explícita su naturaleza empírica, promoviendo sistemáticamente la reflexión y el análisis colaborativo en grupos de estudio y el aprendizaje por resolución de problemas. Presentar y analizar sistemáticamente la acción y reacción de la fuerza de fricción en los diagramas de cuerpo libre de los cuerpos cuyas superficies interactúan, aprovechando para discutir ejemplos donde la fuerza de fricción juegue un papel motor y comparar con casos donde cumpla papel retardador.

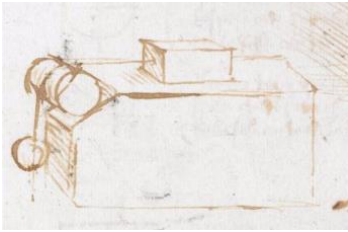
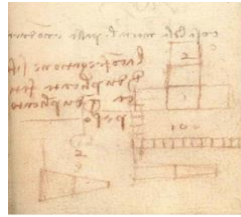
3. Resultados y Discusión

Sugerencias de actividades de aprendizaje para la enseñanza de la fuerza de fricción

Sugerencia 1: Recreando las experiencias de Leonardo da Vinci

Se propone realizar varias experiencias para el reconocimiento de las leyes de la fricción descubiertas por Leonardo da Vinci en 1493 y redescubiertas por Amontons en 1699, las cuales dicen que la fuerza de fricción es proporcional a la carga que oprime a ambas superficies y su dirección es paralela a la dirección del movimiento entre las superficies.

Usando la idea ilustrada en el diagrama de la Figura 4 donde, para el cuerpo que encuentra suspendido en el aire (esfera), se puede usar un recipiente como un envase de yogurt o un tarro en donde se puedan ir agregando cuerpos en su interior (de masa conocida). La experiencia consiste en montar el sistema compuesto por dos recipientes unidos por un trozo de hilo (Figura 4) e ir agregando masa al cuerpo que se encuentra suspendido hasta lograr el desplazamiento del objeto que se encuentra apoyado sobre la mesa (1ª experiencia). Preguntar al estudiantado, si se aumenta la masa del cuerpo que se apoya en la mesa, aumentando la cantidad de cuerpos mediante su apilamiento, ¿cómo debe cambiar la fuerza que tira de ellos para lograr que se mueva? Para continuar la secuencia de experiencias que permitan dar respuesta a la pregunta formulada se puede sugerir que se siga la idea de Leonardo según sus ilustraciones (Figura 5). Se van agregando cuerpos de masa conocida a la torre de apilamiento y se determina la fuerza que permite moverlos.

Figura 4*Diagrama de Leonardo da Vinci.***Figura 5***Apilamiento.*

Se solicita la elaboración de una tabla de tres columnas (masa y peso del cuerpo apoyado en la mesa, fuerza horizontal que logra ponerlo en movimiento). Se pide entonces que se determine el cociente de la fuerza horizontal con el peso del cuerpo sobre la mesa y que se elabore un gráfico de ambas fuerzas, para lograr la identificación de su proporcionalidad. También se puede indagar el efecto de distintas superficies de contacto aplicando la misma secuencia experimental, pero colocando sobre la mesa láminas o planchas de distintos materiales para evidenciar la variación de la fuerza de roce con el tipo de superficie.

Para estudiar la ley que dice que la fuerza de fricción es independiente del área aparente de contacto, se sugiere presentar una actividad experimental usando un cuerpo en forma de bloque (similar a un ladrillo) y tirar del mismo con un dinamómetro en distintas posiciones del bloque apoyado sobre la mesa en las diferentes caras con áreas distintas, de modo de evidenciar que la fuerza que lo pone en movimiento no cambia al cambiar el área de la superficie de apoyo o presentar un video empleando el procedimiento POE (CastleRockResearch, 2012, 1m05s). También se pueden utilizar varios bloques iguales apilados con el objetivo de estudiar la fuerza necesaria para ponerlos en movimiento.

Sugerencia 2: Presencia de las fuerzas de acción y reacción en la fricción entre dos o más cuerpos

Un obstáculo importante para la comprensión de las fuerzas de fricción, especialmente por deslizamiento, que influye de forma importante en el logro de la correcta interpretación de diversas situaciones donde está presente la misma, es la no consideración de la tercera ley de Newton para la fuerza de fricción, que se puede decir que está ausente en prácticamente la mayor parte de los análisis que aparecen en la literatura al respecto. Debido a ello es que se sugiere el diseño de actividades de aprendizaje donde se utilice este análisis.

Se recomienda plantear la siguiente situación empleando el procedimiento POE. Se tiene sobre una mesa dos cuerpos, uno sobre el otro, como se muestra en la Figura 6. Se tira de la cuerda que está unida al cuerpo de abajo para desplazarlo. Antes de realizar la demostración, se describe la situación, para luego plantear la siguiente pregunta, con el objetivo de obtener la predicción por parte del estudiantado: ¿Qué ocurre con el cuerpo de encima? A) se queda en la posición que se encuentra y finalmente cae; B) se desplaza junto con el cuerpo de abajo.

Se registran las predicciones y se pasa a la demostración y luego de la observación, se solicita la elaboración de una explicación de lo que ocurre identificando las causas de ello.

Figura 6

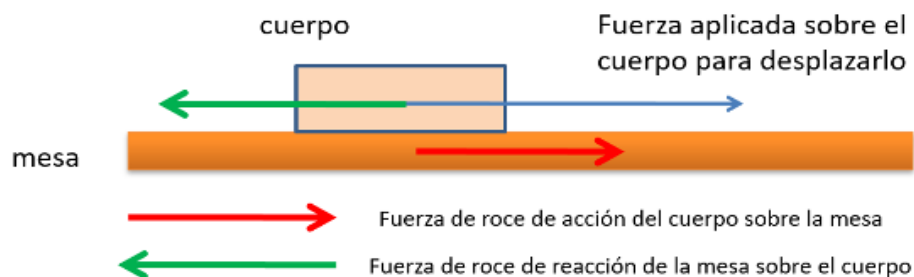
Descripción de la situación



Se recomienda realizar la demostración aplicando a la cuerda una fuerza horizontal no muy elevada, de modo que ambos cuerpos se desplacen juntos. Para facilitar y orientar el análisis del estudiantado se recomienda discutir primero el caso en que no hay ningún cuerpo encima, según lo que muestra la Figura 7, donde se evidencian la fuerza de fricción (acción) del cuerpo sobre la mesa al desplazarse sobre ella en la dirección de la fuerza aplicada sobre él y la fuerza de fricción (reacción) de la mesa sobre el cuerpo que aparecen con el movimiento de dicho cuerpo. Con este análisis el estudiantado podrá reconocer que cuando comienza a moverse el cuerpo aparecen dos fuerzas de fricción (por acción y reacción), una debido al cuerpo sobre la mesa y la otra debido a la mesa sobre el cuerpo.

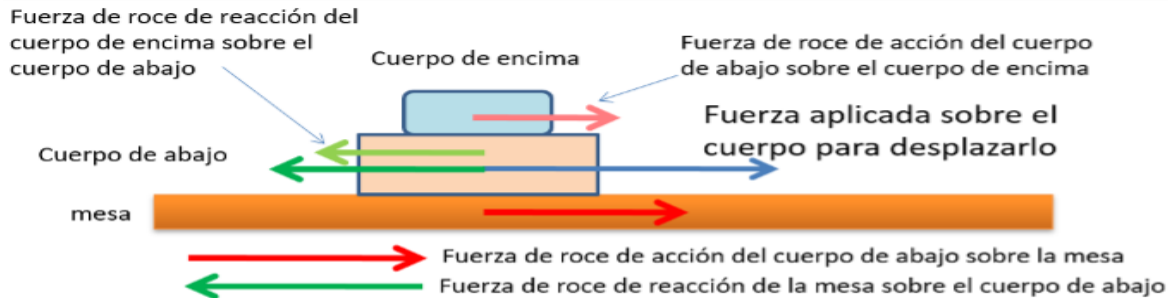
Figura 7

Fuerzas de fricción de acción-reacción entre las superficies de ambos cuerpos



Una vez que se logra esto, se puede avanzar al siguiente paso del análisis de la situación propuesta usando como apoyo lo ilustrado en la Figura 8. Nótese la representación vectorial usada para las fuerzas, donde las empleadas para las fuerzas de roce aparecen aplicadas al centro de masa del cuerpo dado y no sobre la superficie, lo que apunta a una idea previa inadecuada frecuente.

Figura 8
Fuerza de fricción (acción y reacción) en ambos cuerpos



Finalmente se puede mostrar lo que ocurre al aplicar una fuerza más elevada y brusca a la cuerda con lo que se manifiesta el efecto de la inercia en el cuerpo de arriba, debido al cambio de fuerza de roce estática a cinética ya que el coeficiente de roce entre ambas superficies cambia de estático a cinético (que es generalmente muy inferior al estático) al superar la fuerza aplicada el valor máximo de la fuerza de roce estático entre ambos cuerpos.

En la siguiente actividad sugerida se aprecia con claridad la disminución del valor del roce cinético con respecto al del roce estático.

Sugerencia 3: Stick - Slip (Estático o Pegado – Deslizante)

Fernández et al. (2023) plantean un experimento de bajo costo que permite comprender la fuerza de fricción y atacar una de las concepciones erróneas más frecuentes en el estudiantado, que la fuerza de fricción siempre tiene sentido opuesto al movimiento de un objeto, además, permite visualizar en la misma experiencia la fuerza de fricción estática y cinética. En este artículo se plantea una secuencia de actividades de cuatro fases, la exploración, la introducción de nuevas variables, la estructuración y la aplicación. Es en esta última en donde los estudiantes construyen el montaje del experimento de bajo costo, que consiste en un cuerpo (bloque de masa M conocida), un resorte (de constante elástica k) que se encuentra fijo en uno de sus extremos y en el otro se encuentra unido al cuerpo (bloque) y, además el cuerpo durante un tiempo permanece pegado y después se desliza sobre una superficie horizontal, moviéndose con una velocidad constante. La superficie horizontal sobre la que se apoya el cuerpo se puede construir con una banda elástica para hacer deporte, dos tubos de PVC, conectados a un motor extraído de un auto de juguete a través de cuatro pequeños rodamientos (extraídos de los juguetes llamados Spinners), que permiten que la superficie que se desplaza tenga velocidad constante, lo que se puede observar en el Figura 9.

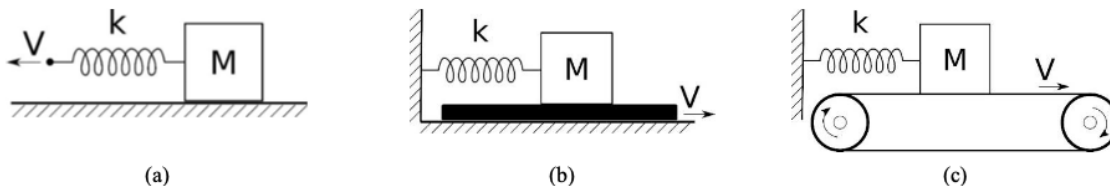
Figura 9*Montaje experimental del Stick-Slip (Fernández et al., 2023, p.2)*

FIGURA 1. (a) Sistema físico simple que exhibe un proceso de Stick-Slip. (b) Sistema equivalente, en donde una superficie rugosa de mueve con velocidad constante debajo del cuerpo de masa M. (c) Experimento análogo construido por nuestros estudiantes.

Stick hace referencia al intervalo de tiempo donde la rapidez relativa entre ambas superficies en contacto es cero. Durante ese intervalo la fuerza de roce estático actúa. En tanto Slip se refiere al intervalo en donde ambas superficies en contacto tienen una rapidez relativa de valor finito. En ese intervalo es cuando actúa la fuerza de roce cinética (Fernández et al., 2023, p.2). Mientras ocurre el deslizamiento, el resorte disminuye su longitud encogiéndose y disminuye la fuerza aplicada al cuerpo de masa M hasta un valor mínimo donde vuelve a aparecer la fuerza de roce estática sobre el cuerpo y se repite el ciclo.

Sugerencia 4: La fuerza de fricción cinética y estática

En la siguiente propuesta se sugiere aplicar también el procedimiento Predecir – Observar - Explicar (POE) haciendo que el estudiantado la experimente en forma personal. Se plantea la situación siguiente, tome un palo de escoba cualquiera o un cilindro de madera equivalente de alrededor de un metro de longitud y apóyela horizontalmente entre sus dedos índices extendidos hacia adelante. Las manos deben estar a igual altura del suelo y separadas unos cincuenta centímetros entre ambas. Luego de describir la situación, solicite a los estudiantes que construyan su predicción en base a la pregunta: ¿Qué ocurre si usted junta lentamente sus dedos? A) La barra se cae hacia su derecha; B) la barra se cae hacia su izquierda; C) La barra no se cae. Se solicita primero la predicción y se registran los resultados. Después se solicita que algún estudiante realice la demostración y sienta lo que ocurre y lo cuente. Finalmente se solicita que en grupos pequeños elaboren una explicación de lo que ocurre, contrastando sus predicciones con lo observado. Esta es una forma de proporcionar al estudiantado la oportunidad de sentir en forma personal una aproximación fenomenológica al roce por deslizamiento, tanto estático como cinético. En Manzur (2008) se muestra la fundamentación teórica y práctica de esta experiencia.

4. Conclusiones

Este trabajo se ha realizado con el objetivo de mostrar una síntesis de las principales dificultades presentes en el proceso de enseñanza y aprendizaje de la fuerza de fricción para el estudiantado de enseñanza media y universitaria basada en la literatura especializada en el tema, con la intención de presentar y sugerir diversas oportunidades de tratamiento que pudieran facilitar y mejorar dicho proceso. Consideramos que el desarrollo histórico de la fuerza de fricción a través del trabajo de Leonardo Da Vinci y Guillaume Amontons permiten comprender la naturaleza empírica de estas

leyes. Se sugiere utilizar el enfoque fenomenológico para promover el aprendizaje activo que consiste en realizar experiencias en donde los estudiantes sienten la fuerza de fricción y experimenten con ella. Todo lo anterior para promover la evolución conceptual de las ideas previas inadecuadas que posee tanto el estudiantado como el profesorado, entre las que se destacan dos grandes ideas, la primera que la fuerza de fricción siempre se opone al movimiento y la segunda, que no se reconoce el cumplimiento de la ley de acción y reacción para la fuerza de fricción. Lo anterior, plantea diversas dificultades en la enseñanza de este concepto, pero también facilita el desarrollo de algunas actividades que permiten contraponer esas ideas, otorgando la oportunidad al estudiantado de identificar las leyes de la fricción de manera correcta. Otro aspecto que destacar es la importancia de comprender que la fuerza de fricción está presente en la mayoría de los fenómenos que se pueden observar en la vida cotidiana y que es necesario tenerla en cuenta. Dentro de las oportunidades para el proceso de enseñanza de la fuerza de fricción se encuentra el uso del enfoque histórico, teniendo en cuenta la evolución del conocimiento científico, en donde se enseñe de manera explícita su naturaleza empírica, promoviendo sistemáticamente la reflexión y el análisis colaborativo en grupos de estudio y el aprendizaje por resolución de problemas, mediante algunas sugerencias de actividades.

Referencias

- Amontons, G. (1699). De la ré'sistance cause'e dans les machines, Me'moires del'Acade'mie Royale A, 19/12/1699. In *Histoire de l'Acade'mie Royale des Sciences*, 1732, 206–227).
- Arcodía, M. F., & Islas, S. M. (2011). Las fuerzas de roce en libros de texto y en revistas científicas. *Revista De Enseñanza De La Física*, 19(2), 7–24.
- Besson, U. (1997). Le frottement solide sec de glissement. Mémoire de tutorat, DEA, Université Paris, 7.
- Besson, U., Borghi, L., De Ambrosis, A., & Mascheretti, P. (2007). How to teach friction: Experiments and models. *American Journal of Physics*, 75(12), 1106-1113.
- Besson, U., Borghi, L., De Ambrosis, A., & Mascheretti, P. (2010). A Three-Dimensional Approach and Open-Source Structure for the Design and Experimentation of Teaching-Learning Sequences: The case of friction. *International Journal of Science Education*, 32(10), 1289-1313.
- Besson, U. (2013). Historical scientific models and theories as resources for learning and teaching: the case of friction. *Science & Education*, 22, 1001-1042.
- Budini, N., Marin, L., Giuliano, M., Carreri, R., Cámara, C., & Giorgi, S. (2019). Actividades disparadoras para instrucción entre pares basadas en la acción de la fuerza de rozamiento. *Revista de Enseñanza de la Física*, 31, 115-122.

- Caldas, H., Cunha, A. L., & Magalhães, M. E. (2000). Repouso e movimento: ¿qué tipo de atrito? O que relatam os livros da 8 a série do ensino fundamental e do ensino médio. *Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências* (Belo Horizonte), 2, 133-151.
- Caldas, H. y Saltiel, E. (1995). Le frottement cinétique: Analyse des raisonnements des étudiants. *Didaskalia*, 6, 55–71.
- Caldas, H. y Saltiel, E. (2000a). Le frottement statique: Analyse des raisonnements des étudiants. *Didaskalia*, 17, 9–27.
- Caldas H. y Saltiel E. (2000b). Les étudiants et les forces de frottement solide: le modèle de la brosse. *Le BUP*, 822, 471–485.
- Caldas H. (1994). Le frottement solide sec : le frottement de glissement et de non glissement. Étude des difficultés des étudiants et analyse de manuels. *Thèse, Université Paris*, 7.
- CastleRockResearch. (6 noviembre 2012). *Graham Best in Friction 2 (Surface Area)* [Archivo de Vídeo]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=idYX7kkRqbs>
- Carvalho, P. y Sousa, A. (2005). Rotation in secondary school: teaching the effects of frictional force. *Physics Education*, 40, 257-265.
- Chia, T. (1996). Common misconceptions in frictional force among university physics students. *Teaching and Learning*, 16, 107-116.
- Concari, S. B., Pozzo, R. L., & Giorgi, S. M. (1999). Un estudio sobre el rozamiento en libros de física de nivel universitario. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, 17(2), 273-280.
- Concari, S., Giorgi, S. y Pozzo, R. (1995). La fuerza de rozamiento: ¿efecto retardador o acelerador del movimiento? Conferencia en Memorias REF IX Salta, 468-476.
- Corpuz, E.G. y Rebello, N.S. (2006). Students' conceptual development in the context of microscopic friction: A case study with two students. Proceedings of the NARST 2006 Annual Meeting, San Francisco.
- Cunha, A., y Caldas, H. (2000). Sentido das forças de atrito e os livros de 8a série. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 17(1), 7-21.
- De Ambrosis, A., Malgieri, M., Mascheretti, P., & Onorato, P. (2015). Investigating the role of sliding friction in rolling motion: a teaching sequence based on experiments and simulations. *European Journal of Physics*, 36(3), 1-21.
- Díaz-Delgado, R. A. y Maringer-Duran, D. A. (2021). La enseñanza del concepto de fuerza: algunas reflexiones. *Latin-American Journal Physics Education*, 8, 12006.
- Driver, R., Guesne, E., & Tiberghien, A. (Eds.) (1985). *Children's ideas in science*. Milton Keynes: Open University Press.

- Fernández, N., Carrasco, N., y Varas, G. (2023). Stick-Slip, fuerzas de roce y una secuencia didáctica. *Latin-American Journal Physics Education*, 17(3), 1-7.
- Fischer, H. E., y Neumann, K. (2023). Teaching Physics. In N. Lederman, D. Zeidler & J. Lederman (Eds.), *Handbook of Research on Science Education, Volume III* (pp. 619–656). Routledge.
- Hincapié, H. (2011). Predicción, Experimentación y Simulación en la Enseñanza de la Fuerza de Rozamiento [Tesis de maestría no publicada]. Universidad Nacional de Colombia.
- Hutchings, I. M. (2016). Leonardo da Vinci's studies of friction. *Wear*, 360-361, 51–66.
- Islas, S. M., & Guridi, V. M. (1999). El quehacer científico versus el quehacer áulico. Buscando rasgos del quehacer científico en libros de texto. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, 17(2), 281-290.
- 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), 264-275.
- Liu, G., y Fang, N. (2016). Student Misconceptions about Force and Acceleration in Physics and Engineering Mechanics Education. *International Journal of Engineering Education*, 32(1), 19–29.
- López, S., y Covalada, R. (2005). Ideas de los estudiantes sobre los conceptos de fuerza y fuerza de fricción. *Revista Educación y Pedagogía*, XVII(43), 197-206.
- Malgieri, M., Onorato, P y De Ambrosis, A. (2016). Learning about the role of sliding friction in rolling motion: a teaching-learning sequence based on computer-aided experiments and simulations. 700-711. Conference.
- Manzur, A. (2008). Cuando la fuerza de fricción estática se convierte en fuerza de fricción cinética y viceversa. *Revista mexicana de física*, 54(1), 51-54.
- MINEDUC. (2013). *Ciencias Naturales: Programa de Estudio Cuarto Año Básico*.
- MINEDUC. (2015). *Bases Curriculares 7° y 8° básico, 1° y 2° medio*.
- MINEDUC. (2016). *Ciencias Naturales: Programa de estudio Segundo Medio*.
- MINEDUC. (2023). *Actualización de la priorización curricular*.
- Salazar, A., Sánchez-Lavega, A. y Arriandiaga, M. A. (2002). Is the frictional force always opposed to the motion? *Physics Education*, 25, 82.
- Portolés, J., López, V., & Vidal, E. (1993). Los estudiantes y los textos de ciencias físicas: un estudio sobre su interacción. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 10(3), 204-219.
- Ringlein J. y Robbins M.O. (2004). Understanding and illustrating the atomic origins of friction. *American Journal of Physics*, 72(7), 884–891.

- Sokoloff, D. y Thornton, R. (2017). *Active Learning with Interactive Lecture Demonstrations*. New Faculty Workshop, American Center for Physics, June 13.
- Texeira E., Greca I. y Freire O. Jr. (2012). The history and philosophy of science in physics teaching: A research synthesis of didactic interventions. *Science & Education*, 21(6), 771–796.