
DIAGNÓSTICO SOBRE CONCEPTUALIZACIÓN DE FUERZAS DE ROCE EN ESTUDIANTES AVANZADOS DEL PROFESORADO

Stella M. Islas

Verónica M. Guridi

Dpto. de Formación Docente

Facultad de Ciencias Exactas

Universidad Nacional del Centro. Pinto 399

(7000) Tandil. Buenos Aires

ARGENTINA

Resumen

Las fuerzas de roce constituyen una de las interacciones mecánicas que con mayor frecuencia aparecen en los fenómenos naturales. Sin embargo, es común que en la escuela se eluda su tratamiento o bien que se lo haga muy superficialmente. En este trabajo se describe un estudio preliminar acerca de las fuerzas de roce y de su tratamiento didáctico. Se presentan los resultados de entrevistas realizadas a estudiantes avanzados del Profesorado con el fin de diagnosticar dificultades referidas al tema. Se emplean estos resultados para perfilar futuras acciones de investigación.

I. Introducción

Se reporta aquí una exploración que se inicia con estudiantes avanzados del profesorado, referida a conceptos básicos del tema **fuerzas de roce** (en adelante, f_r). Esta exploración se inserta en un proyecto de investigación más amplio que tiene como objeto de estudio el manejo en aula de situaciones idealizadas y las posturas epistemológicas subyacentes en ese manejo. Los resultados que se presentan tienen un marcado carácter preliminar y abren una gran cantidad de interrogantes: algunos se encuentran planteados en este trabajo y otros surgirán seguramente en el lector.

Se decidió comenzar con el tema f_r dado que éstas juegan un papel determinante en los movimientos que a diario hacemos y observamos. Sin embargo, se las estudia muy poco en las clases de Física. E. Saltiel se pregunta si la ausencia de roce en

las temáticas escolares no será consecuencia de que no existe un “modelo microscópico, físico para este tipo de fenómenos.” (Saltiel, 1994). Paralelamente a esto hay otro problema: es escaso el número de investigaciones en educación que toman al roce como objeto de estudio. Cabe citar, entre ellos, las que realizaron Concari et al (1995) sobre las fuerzas de roce como fuerzas motrices.

Cada vez que el científico recorta un problema a través de la selección de variables relevantes, lo hace con criterios fundados; es un trabajo sistemático y cuidadoso. Así, el significado, los alcances y la pertinencia de las hipótesis simplificadoras son claramente “puestos sobre la mesa”.

No ocurre algo similar con la modelización llevada a las clases de Física. En particular, la simplificación derivada de considerar despreciables a las f_r suele manejarse acriticamente, casi como una rutina para evitar complicaciones en la formalización matemática.

Esta situación llega a tal extremo que conduce a la presentación de enunciados de problemas que contienen una contradicción en sí mismos: en un trabajo anterior (Islas, 1994) se encontró que: “la tan usada frase ‘suponga nulos los rozamientos’ figura en el enunciado de un problema (Galloni, 1981, p. 204) que pide calcular la variación de energía potencial de un automóvil que sube una cuesta”. ¿Cómo puede preparar un auto una cuesta con velocidad inicial cero si no hay roce?

II. Supuestos que orientan el trabajo

Algunas de las dificultades para realizar el tránsito, entre la observación cotidiana y la física de la clase, se podrían subsanar con un enfoque que otorgue mayor relevancia a las f_r . Consideramos que tal vez la concepción alternativa según la cual $F \propto v$ esté reforzada por el modo en que se estudian las fuerzas: entre ellas, raramente se considera el roce; sin embargo, este fenómeno ha estado siempre presente en las observaciones cotidianas del alumno. Es probable que para él sea difícil conceptualizar al roce como una fuerza, y más aún si no la encuentra entre las fuerzas que estudia.

La construcción de conceptos científicos en el aprendizaje resulta -usando términos vygotkianos- de un interjuego entre lo concreto y lo abstracto, una evolución espiralada (Vygotski, 1991) que, en el tema que nos ocupa, parece tener un “hueco”: el de omitir en la construcción del concepto de fuerza un tipo de fuerza que determina a los fenómenos del entorno.

Otro supuesto que anima a este trabajo es que los futuros docentes de Física manejan el tema de f_r en una versión demasiado simplificada, dado que en la mayoría de los problemas que han abordado se desprecian las f_r y las actividades acerca de roce con que se han enfrentado sólo han demandado un estudio macroscópico (cuando hablamos de actividades incluimos tanto las experimentales como las de lápiz y papel).

El nexo entre los dos supuestos anteriores surge de admitir que la información obtenida con estudiantes avanzados del profesorado será válida para orientar un estudio más global. En otras palabras: se supone que para indagar lo que ocurre en las aulas (tanto del nivel medio como del nivel básico universitario) es pertinente comenzar el estudio con alumnos avanzados del profesorado.

III. ¿Cuál es el encuadre teórico de las fuerzas de roce en las clases de Física Básica?

“...Una ley experimental no es una traducción exacta de las leyes de la naturaleza, y el término ‘ley’ es confuso. En realidad se trata de relaciones que se cumplen en condiciones determinadas. Cuando se formulan cuantitativamente es más exacto hablar de ecuaciones que de leyes.” (Agazzi et al, 1986).

Las expresiones del tipo $f_r = \mu \cdot N$ (1), a pesar de ser leyes empíricas, se presentan a menudo en las clases de Física como si tuvieran el mismo status epistemológico que las leyes que están respaldadas por una elaboración teórica. Debería considerarse que la ecuación (1) reviste un carácter totalmente empírico, y que ello significa que desde las formulaciones teóricas no se llega a tal expresión (no existe un modelo teórico que la sustente). ¿Será por esto que las fuerzas de roce se tratan como si no pudieran encuadrarse en el modelo teórico newtoniano? Porque parecería que, por ejemplo, las fuerzas de roce no forman pares de acción-reacción (cuando un cuerpo se mueve sobre una mesa se estudia la fuerza de roce en el cuerpo y no en la mesa).

Pensamos que las dificultades que los alumnos presentan a respecto del tema f_r se deben más a este segundo aspecto que a la asignación errónea de un status epistemológico a las “leyes” de roce.

Una creencia bastante difundida entre los docentes es que sólo es riguroso aquello que se puede expresar mediante ecuaciones. Usualmente no se tiene en cuenta que si bien el rigor científico demanda formulaciones matemáticas, también es cierto que va más allá de ellas: los análisis cualitativos de los fenómenos naturales se realizan con las mismas exigencias de rigor. Este último aspecto del trabajo científico parece estar un tanto olvidado, y quizás los docentes se resistan a tratar temas como el origen microscópico de las f_r (para el cual no existen leyes teóricas) puesto que tanto en su formación como en su práctica docente se han sentido en falta al tratar un tema sin presentar ecuaciones.

IV. Metodología

Al tratarse de un estudio exploratorio -cuyo propósito no es generalizar conclusiones para un gran número de individuos, sino detectar asuntos que ameriten ser objeto de otro tipo de estudios- se prefiere tomar pocos casos y analizarlos en profundidad.

Por ello, se decidió estudiar las respuestas de alumnos de cuarto año (cuatro en 1995 y tres en 1996) del Profesorado en Matemática y Física (Facultad de Ciencias Exactas, Universidad Nacional del Centro) a:

- a) un grupo de cuestiones sobre f_r planteadas en uno de los trabajos prácticos de la cátedra Didáctica Especial de Física,
- b) otra serie de cuestiones planteadas en entrevistas individuales.

Se procedió del modo siguiente:

1) Se entregó a los alumnos la guía de trabajos prácticos con preguntas, aclarándose previamente que esta actividad en parte se incluiría en un trabajo de investigación y que, por tal motivo, era deseable su resolución individual. Además, los alumnos podían consultar la bibliografía que consideraran apropiada y se comprometieron a culminar la actividad en el término de dos semanas. Por razones de espacio, se transcriben aquí sólo algunas de las diez preguntas que se plantearon (*el trabajo práctico completo se adjunta en el Anexo*):

¿Cómo se obtienen los coeficientes de rozamiento estático y cinético?; # ¿Por qué todas las máquinas necesitan -en mayor o menor grado- lubricantes y piezas rodantes?; # Un cuerpo está apoyado en el piso: antes de que se ejerza una fuerza que intenta hacerlo deslizar, ¿existe roce entre tal cuerpo y el piso?; # ¿Por qué existen las fuerzas de roce? (busque explicación a nivel microscópico).

2) Sobre la base de las respuestas de los alumnos al trabajo anterior, se elaboró un diseño de entrevista individual que contenía un grupo de preguntas comunes y otras referidas a cuestiones específicas para cada entrevistado.

3) Se realizaron las entrevistas (registradas en audio) siguiendo los lineamientos de ese diseño y adaptando el curso de cada una a las manifestaciones de cada entrevistado, procurando que se clarificaran y re-elaboraran las respuestas.

4) Finalmente, se analizaron las entrevistas y ello ha permitido, hasta el momento, detectar algunos “temas emergentes” (Taylor & Bogdan, 1992) que se revelan como interesantes para diseñar futuras acciones de investigación. Estos temas se discuten en el apartado siguiente.

V. Resultados de las entrevistas

Se consignan, a continuación, las notas salientes de las respuestas de los estudiantes que se usarán para perfilar indagaciones posteriores. A respecto de algunas de ellas, se proponen conjeturas explicativas.

Hay dificultades para señalar el punto de aplicación de las f_r . Quizás ellas se originen por el modo en que se realizan comúnmente los diagramas, en los cuales la f_r aparece representada por medio de un vector que “asoma” entre las superficies en contacto. Esto contribuye a la confusión acerca de cuál es el cuerpo que ejerce la fuerza (es decir, el agente) y sobre cuál cuerpo actúa ésta última.

A este respecto, se transcribe una respuesta dada por una de las alumnas al trabajo práctico:

“En los libros con los cuales trabajé las fuerzas (refiriéndose a las fuerzas de roce) están representadas por vectores pero es ‘impreciso’ el punto de aplicación de las mismas.”

Cuando se le pregunta, en la entrevista individual, dónde ubicaría el punto de aplicación, ella contesta:

“Ese es el problema. Claro, porque acá el libro es como que está así, todo ancho, a lo largo de esto. Actúa en toda la superficie...bah! no en toda la superficie sino en pedacitos. Entonces, ¿dónde está el punto de aplicación? Lo que pasa es que yo lo iba a poner... en realidad cuando vos lo considerás, yo lo consideraría todo en el mismo lugar, todo en el centro.”

Para ilustrar una nota que aparece en todas las entrevistas, tomamos la entrevista n° 2 como ejemplo. A partir de una respuesta al trabajo práctico en la que figuraba la expresión: “la f_r siempre se opone al movimiento” se pide a la alumna que especifique a cuál movimiento se refiere, a lo que responde: “Yo tomé los diagramas como aparece en los libros, cuando marcan las fuerzas. (...) Nunca encontré en un libro la acción y la reacción a la f_r . Encontré una fuerza que dice f_r y que te indican que si el cuerpo se mueve hacia la izquierda, la fuerza de roce es hacia la derecha.” Se propone luego a la alumna que emplee su análisis para el movimiento de un automóvil y contesta: “En el caso de la rueda, ahí sí, no va en contra del movimiento”. Explica el diagrama de fuerzas y concluye diciendo: “Pero no recuerdo si lo he visto en algún libro a ese diagrama o no”.

De esta nota emergen tres temas:

- a) Los entrevistados no se ocupan de especificar cuál es el sistema de referencia que están usando cuando hablan de un movimiento;
- b) Estos estudiantes no están habituados a usar la tercera ley de Newton cuando consideran f_r : en uno de los trabajos prácticos se afirma que “... en los diagra-

mas la fuerza de roce aparece siempre como única, no se marca el par acción-reacción... ”; y

c) Tienen dificultades para estudiar el movimiento de los cuerpos cuando éstos tienen partes articuladas.

Revisando las respuestas dadas por las alumnas a la cuestión ¿Por qué todas las máquinas necesitan -en mayor o menor grado- lubricantes y piezas rodantes? se encuentran argumentaciones incompletas acerca de la rodadura, y que podrían catalogarse como complementarias entre sí:

“Las piezas rodantes tienen menos puntos de contacto con la superficie donde deslizan y por eso tienen menor rozamiento que las superficies planas.”

En esta afirmación se omite considerar la incidencia del tipo de ligadura que se está “rompiendo”, y que sí es contemplada por otra alumna: *“.. esta reducción se debe al hecho de que en el rodamiento las soldaduras de contacto microscópicas más bien son “rasgadas” y no “rasuradas” como ocurre en la fricción por deslizamiento”*.

Un rápido repaso de la bibliografía permite corroborar que los móviles estudiados son, cuando no puntuales, cuerpos de “una sola pieza”. El uso de carritos en tópicos de dinámica de translaciones suele presentarse sin disquisiciones acerca de por qué se monta al cuerpo sobre ruedas ni acerca de la relación del movimiento de las ruedas con el movimiento del carro.

El tránsito del enfoque microscópico al macroscópico parece ser problemático: debido tal vez a que, según manifiestan los alumnos, hasta el momento le habían prestado muy poca atención al origen microscópico de las f_r , fue necesario utilizar preguntas sugerentes para que notaran que la f_r estática (paralela a las superficies en contacto) aparece solamente cuando se está ejerciendo una fuerza que intenta generar un movimiento relativo y que, en ausencia de esa fuerza, las interacciones electromagnéticas que originan las f_r no dan como resultado una fuerza paralela a las superficies.

Entre las dificultades asociadas con la conservación del momento, cabe tomar como ejemplo esta respuesta: “... Y, la conservación del momento no se cumple porque la cantidad de movimiento se conserva en ausencia de fuerzas externas y la f_r es una fuerza que hace un cuerpo externo”.

De aquí surgen dos consideraciones:

1) El principio de conservación del momento establece que: “Si no actúan fuerzas externas sobre un sistema de cuerpos, la cantidad de movimiento de éste se conserva.”

Este principio adopta la forma lógica de un condicional. Cuando se les presenta una proposición con esta forma lógica en la que se niega el antecedente, los alumnos consideran que se está violando el principio de conservación (no descubren que se está negando la condición necesaria para que el momento se conserve).

2) No identifican cuál es el sistema de cuerpos interactuantes (centran su atención sólo en el cuerpo que se pretende poner en movimiento). Resta indagar la relación entre este problema y el del sistema de referencia ya mencionado.

La consulta al texto de Feynman (1987) originó cierta sorpresa en los alumnos al encontrar cuestionada la validez de las leyes empíricas y la exactitud de los coeficientes, así como la posibilidad de que el coeficiente de roce dinámico sea mayor que el de roce estático. En una entrevista, la alumna apunta: *“Cuando leí la parte de roce en Feynman, es como que él dice que es un fenómeno que no se podría regir por leyes, porque como que depende de muchas cosas y hasta pone en duda los coeficientes tabulados porque dice que hay cosas que no se tienen en cuenta, que no valen”*.

Estos alumnos manifiestan haber estudiado siempre el roce como un fenómeno entre sólido y sólido. Les resulta novedoso el tratamiento en los fluidos: declaran esto en las entrevistas, debido a que se les pidieron ampliaciones de las respuestas que habían dado en los prácticos, ya que sólo hubo dos casos en los que se aludió a la viscosidad, y ninguno al roce entre el lubricante y las piezas que protege.

VI. Conclusiones

“En suma, la Ciencia se hace un poco por todas partes, tal como los físicos la han hecho desde Galileo, a saber, planteando cuestiones claras, imaginando modelos conceptuales de las cosas, a veces teorías generales e intentando siempre justificar lo que se piensa y lo que se hace ya sea por la lógica, ya por otras teorías, ya por experiencias iluminadas por teorías” (Bunge, 1968). Si pretendemos que nuestros estudiantes se acerquen a una concepción acertada de lo que la Física es, deberemos ocuparnos un poco más en facilitarles el tránsito entre la observación empírica y la modelización que se conjugan en edificios teóricos.

Creemos que el tema del rozamiento es uno de los tantos que merecen ser revisados desde la óptica didáctica. Aspiramos a que en el futuro, desde esta investigación, podamos formular recomendaciones didácticas fundadas en resultados probados. Actualmente, podemos consignar alternativas metodológicas cuya eficacia para solucionar las dificultades detectadas estamos estudiando, y que se relacionan con los supuestos que hemos planteado al comienzo de este informe.

Una de ellas es la arriba citada, que alude al aumento en la frecuencia con que se estudian en clase los hechos de la realidad explicitando de qué modo se los recorta con el afán científico de simplificar el análisis.

Quizás trazando las líneas entre los enfoques micro y macro mejoraría la comprensión de los fenómenos de roce y, además, se colaboraría para la construcción de ideas sobre la Ciencia en su conjunto. “De esta forma, los estudiantes reconocen la

diferencia entre fuerzas ‘fundamentales’ y fuerzas ‘macroscópicas’, o fuerzas fenomenológicas que nosotros sentimos y observamos directamente”. (Alonso, 1994)

Sería necesario examinar, además, por qué no se incluye al rozamiento desde que se comienza con el tratamiento del concepto de fuerza, también cuando se estudian las leyes de Newton, cuando se trabaja con fluidos, etc. No parece haber razones válidas para separar este asunto de los demás, y hacer con él un capítulo aislado.

Teniendo en cuenta que la acción que cada docente concreta en el aula, responde a una postura frente a la ciencia y a la educación científica, a la hora de tomar decisiones a respecto del que hacer áulico, convendría plantearse a cuál línea epistemológica se está adhiriendo.

El tema es, a nuestro criterio, interesante y merecedor de investigaciones profundas. A partir de este trabajo, nuestra intención es realizar un muestreo que se extienda a poblaciones más amplias, para indagar sobre los tópicos aquí planteados, y sobre otros tales como: las actividades experimentales de cálculo de coeficientes; el enfoque tecnológico del tema y un buen número de asuntos que surgen si comenzamos un listado de los hechos que cambiarían si mágicamente desaparecieran las f_r (¿cómo haríamos para caminar, sujetar utensilios, escribir, manejar un auto...?)

VII. Referencias

- AGAZZI, E.; ARTIGAS, M. & RADNITZKY, G. (1986) “La fiabilidad de la Ciencia”. *Investigación y Ciencia*. N° 22.
- ALONSO, M. (1994) “Physics teachers are more conservative than the conservation laws” (Guest Comment). *American Journal of Physics*. 62(1), pp. 13-14.
- BUNGE, M. (1968) “*Teoría y realidad*”. (Ed. Ariel. España).
- CONCARI, S.; GIORGI, S. & POZZO, R. (1995) “La fuerza de rozamiento: efecto retardador o acelerador del movimiento”. *Memoria REF IX*, pp. 478-476.
- FEYNMAN (1987) “*Física I*”. (Ed. Addison-Wesley Iberoamericana. USA).
- GALLONI, H. (1981) “*Física*”. (Ed. Saint Claire . Buenos Aires).
- ISLAS, S. M. (1994) “¿Pueden cuestionarse las ideas previas de los estudiantes resolviendo problemas sobre un mundo ideal?” *V IACPE*. Texas.
- SALTIEL, E. (1994) “Razonamientos de los estudiantes sobre el frotamiento cinético”. (Conferencia) *Memoria II SIEF*. Buenos Aires.

TAYLOR, S. J. & BOGDAN, R. (1992) *“Introducción a los métodos cualitativos de investigación”*. (Ed. Paidós. España).

VYGOTSKI, L. (1991) *“El desarrollo de los procesos psicológicos superiores”*. (Editorial Crítica. Grijalbo. Barcelona).

ANEXO

DIDÁCTICA DE FÍSICA I

TRÁBAJO PRÁCTICO N° : 4

Estudio didáctico referido a las fuerzas de roce.

Este Práctico forma parte de una exploración que se está realizando, preparatoria de un trabajo de investigación que se iniciará en el transcurso de este año.

El tema general -dentro del cual este estudio se incluye- se dirige hacia el manejo áulico de situaciones idealizadas y hacia las posturas epistemológicas subyacentes en este manejo.

Si bien las hipótesis del trabajo no están todavía totalmente delineadas (para ello se hace la exploración), *el supuesto básico es que podría mejorarse el aprendizaje de la Física si el docente:*

tuviera claridad respecto de los alcances de las hipótesis simplificadoras que emplea

reconociera cuáles son sus concepciones sobre la Ciencia y sobre el trabajo de los científicos

aportara elementos a los estudiantes para que ellos comprendan cuál es la conexión entre el mundo real y el modelizado.

¿Por qué "las fuerzas de roce"?

Las fricciones juegan un papel determinante en los movimientos que a diario hacemos y observamos. Sin embargo, se las estudia muy poco en las clases de Física: debe haber pocas frases tan usadas como la que recomienda "desprecie los efectos del rozamiento".

Tampoco es ésta la única simplificación practicada, pero es ella la que estudiaremos en este Práctico.

ACTIVIDADES A REALIZAR EN ESTE PRACTICO

Algunas de ellas revisten, para la Cátedra, el mismo carácter de obligatoriedad que las de los demás Prácticos. Otras (las de mayor inserción en la investigación) son opcionales, y así se lo aclarará oportunamente.

Primer grupo de actividades

Comenzaremos con un relevamiento bibliográfico, que realizará cada alumna basándose, como mínimo, en un texto de Nivel Medio y uno de Nivel Superior.

He aquí algunas preguntas orientadoras:

- 1) ¿ Cuáles son las leyes cuantitativas para las fuerzas de roce?
- 2) ¿ Cómo se obtienen los coeficientes de rozamiento estático y cinético?
- 3) ¿ Cuáles son las características de los diagramas vectoriales representativos de las fuerzas de roce?
- 4) ¿ Por qué todas las máquinas necesitan -en mayor o en menor grado- lubricantes y piezas rodantes?
- 5) Un cuerpo está apoyado en el piso: antes de que se ejerza una fuerza que intenta hacerlo deslizar, ¿ existe roce entre tal cuerpo y el piso?
- 6) Al considerar el roce, siguen teniendo validez:
las leyes de Newton,
la ley de conservación del momento,
la ley de conservación de la energía.
- 7) ¿ Por qué existen las fuerzas de roce? (busque explicación a nivel microscópico).
- 8) Compare el tratamiento de este tema entre uno y otro de los textos que consultó.
¿ Qué puede decir respecto a?:
a) la vinculación del tema con otros tópicos,
b) el posible uso del texto para interpretar fenómenos conocidos de la vida cotidiana,
c) la utilidad del texto para preparar clases,
d) las dudas y/o confusiones que le generó la consulta.

Trate de 'descubrir entre líneas' si se sugiere que el rozamiento es algo que 'complica' la vida del hombre, o lo contrario.

9) Elija una acción cualquiera de las que ejecuta frecuentemente (caminar, vestirse, escribir, etc.), y describa qué ocurriría con tal acción si las fuerzas de rozamiento fueran realmente despreciables.

10) ¿ Cuáles son los aspectos del tema que le siguen resultando poco claros? (trate de traducirlos a preguntas)

NOTA: Es deseable que esta primera parte del trabajo sea realizada en forma individual.

Segundo grupo de actividades

Una vez que cada una de ustedes haya respondido a las preguntas anteriores, y antes de hacer una puesta en común, realizaremos entrevistas de discusión con las respuestas a la vista. Estas entrevistas serán registradas en audio y luego analizadas.

La participación en entrevistas es opcional. Si Ud. no desea hacerla, puede entregar sus respuestas por escrito.

Interesa dejar claro que lo que se evaluará para la aprobación de este Práctico, no es si Ud. maneja (o no) los aspectos científicos del tema, sino la seriedad con que realiza el estudio y elabora las respuestas.

Tercer grupo de actividades

Como estas actividades tienen que ver con los resultados de las entrevistas y análisis de respuestas, las indicaciones se darán más adelante.