

Recibido: 23.01.2018 | Aceptado: 12.03.2018

Palabras clave: Complejidad, física escolar, aprendizaje y concepto físico.



La enseñanza de la física: el caso de la fricción

NEHEMIÁS MORENO MARTÍNEZ

nehemias_moreno@live.com

RITA ANGULO VILLANUEVA

FACULTAD DE CIENCIAS, UASLP

ISNARDO REDUCINDO RUIZ

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INFORMACIÓN, UASLP

El aprendizaje de la física y las matemáticas, desde el nivel educativo básico hasta el universitario, plantea a los estudiantes dificultades que se ven reflejadas en los resultados deficientes

de las evaluaciones, o a través de cierto desagrado por las ciencias. Como respuesta a esta problemática, disciplinas científicas como la Didáctica de las Ciencias o la Matemática Educativa

han orientado sus esfuerzos a favor de los procesos de enseñanza-aprendizaje mediante el diseño de nuevas estrategias y el desarrollo de investigaciones sobre la construcción del conocimiento, entre otros.

Las disciplinas anteriores coinciden en la idea de que una característica que debe ser enseñada y aprendida es la complejidad de los objetos, tanto matemáticos como físico-matemáticos. La complejidad del objeto lleva a pensar no en un objeto unitario, sino en un sistema complejo formado por partes o componentes. Algunas veces, el objeto aparece como entidad unitaria (conocida previamente), mientras que en otras participa como sistema que debe descomponerse para su estudio (Rondero y Font, 2015). Por ejemplo, en física, en el estudio del tema avanzado de cuerpo rígido, el centro de masa se considera como algo conocido y como entidad unitaria. Este mismo objeto, en el contenido previo de sistemas de partículas, tiene que ser considerado de manera sistémica para su aprendizaje.

Una manera de entender la complejidad de los objetos matemáticos o físico-matemáticos es a través del constructo teórico llamado configuración epistémica (CE) de objetos primarios, que proviene de la teoría del Enfoque Ontosemiótico (Rondero y Font, 2015; Moreno, Font y Ramírez, 2016) de la Matemática Educativa. El constructo CE permite comprender la manera en que un experto (profesor o investigador) utiliza y organiza, a lo largo de la práctica de resolución de un problema, seis objetos físico-matemáticos primarios: situaciones-pro-



Figura 1. Configuración epistémica de objetos físico-matemáticos.

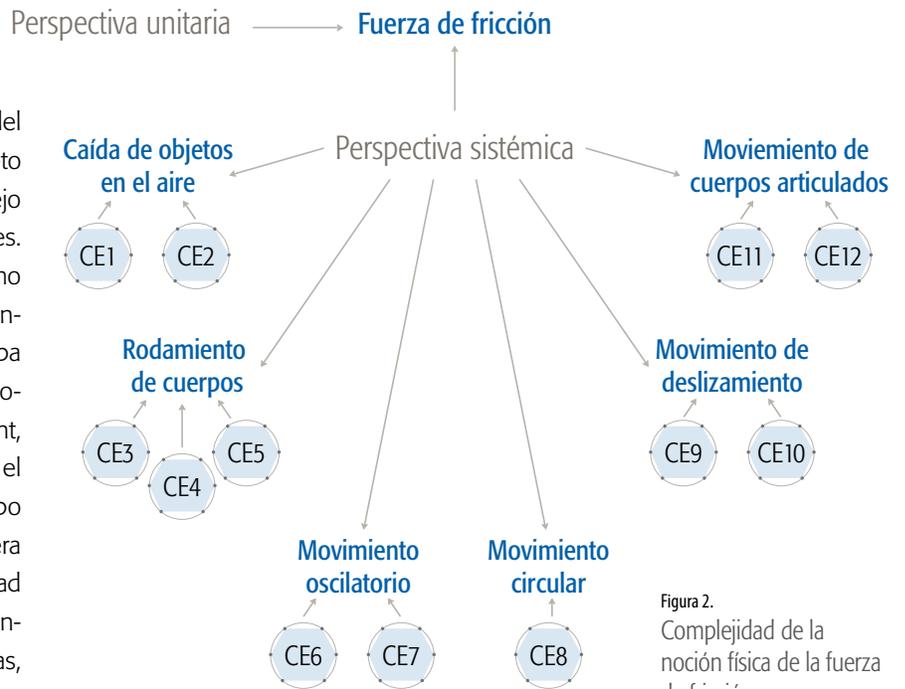


Figura 2. Complejidad de la noción física de la fuerza de fricción.

blema (problemas contextualizados, ejercicios), lenguaje (términos, expresiones algebraicas, notaciones, etcétera), conceptos (introducidos mediante definiciones), propiedades (enunciados sobre conceptos), procedimiento (algoritmos, operaciones, técnicas de cálculo) y argumentos (enunciados que validan o explican propiedades o procedimientos) (figura 1).

Para ejemplificar lo mencionado en los párrafos anteriores, a continuación, se describe la complejidad y articulación de los componentes de esta complejidad para el caso del objeto físico-matemáti-

co fuerza de fricción, la cual fue obtenida a partir de una revisión de la literatura. La figura 2 ilustra la complejidad de la noción de fuerza de fricción, ahí se han enumerado las distintas CE (CE1-CE12) que se ejemplificarán en este artículo y donde la fuerza de fricción juega un papel relevante. La complejidad de la fuerza de fricción, estructurada mediante un conjunto de configuraciones epistémicas (CE1-CE12), muestra cuáles son las componentes que hay que articular como un paso previo y necesario para pasar a una perspectiva unitaria del objeto físico-matemático fuerza de fricción, ver la figura 2.

La caída de los cuerpos

Algunos investigadores (Calderón, González y Gil, 2011) han propuesto didácticas para estudiar experimentalmente el movimiento de un cuerpo en el aire. De éstas es posible elaborar una CE1, donde la fuerza de fricción se supone proporcional al cuadrado de la velocidad. Otra CE2 puede obtenerse al describir movimientos más lentos donde la fuerza de fricción se supone proporcional a la velocidad. En estos contextos, durante la caída del cuerpo, la magnitud de la fuerza de fricción se incrementa hasta un valor máximo en que el cuerpo adquiere una velocidad terminal constante. En general, en CE1 y CE2 la fuerza de fricción se representa de manera distinta (proporcional a la velocidad en CE2 o al cuadrado de la velocidad en CE1) e interpretada como una fuerza que se opone al movimiento.

El rodamiento de los cuerpos

Carvalho y Sousa (2005) han propuesto abordar la fuerza de fricción mediante tres situaciones que involucran el rodamiento sin deslizamiento de un cuerpo. Puede elaborarse una CE3 al resolver el problema del rodamiento de un cuerpo sobre una superficie horizontal, en donde la fuerza de fricción (F_f) tiene el mismo sentido que el desplazamiento del cuerpo; sin embargo, en el contexto de un cuerpo que rueda cuesta abajo de un plano inclinado puede elaborarse una CE4 que describa a una F_f que tiene sentido opuesto al desplazamiento del cuerpo. En ambos casos, la fuerza de fricción es interpretada como una condición para que el cuerpo no resbale.

El rodamiento también ocurre cotidianamente en el movimiento de bicicle-

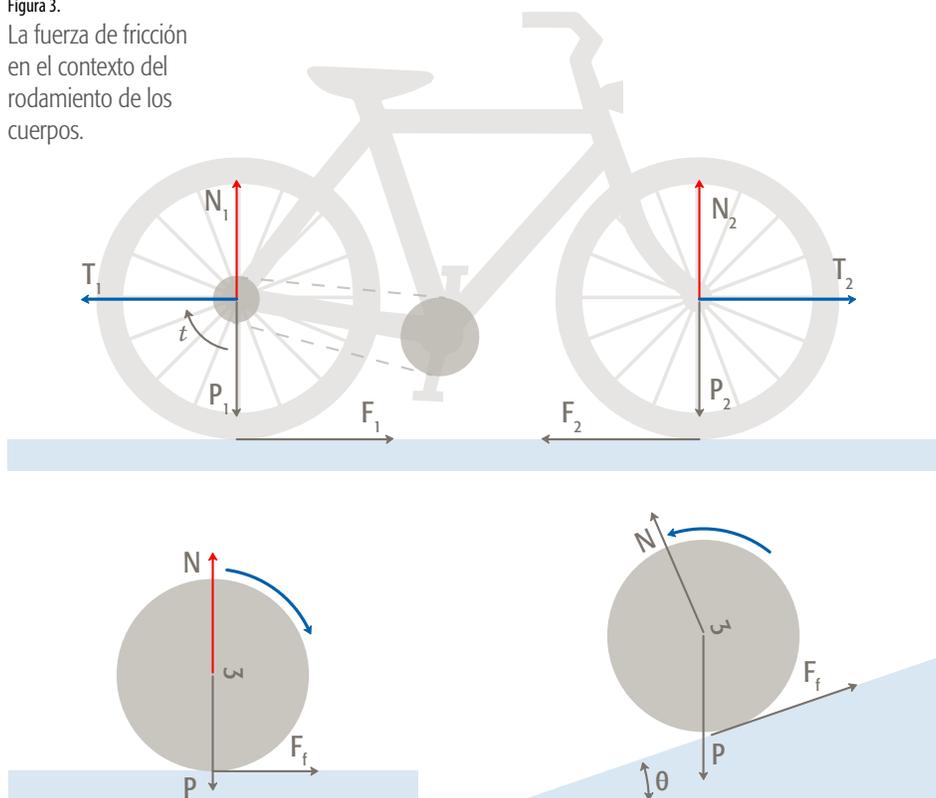
tas. En este caso se tendría una CE5 que describe a una fuerza externa (por ejemplo, la fuerza de empuje que imprime una persona sobre los pedales de la bicicleta) que provoca una torsión (τ) sobre el plato o estrella de la bicicleta. Las fuerzas de fricción F_1 y F_2 aparecen opuestas en ambas ruedas (figura 3).

El movimiento oscilatorio

Leal, Porta y Sandoval (1987) han realizado la propuesta didáctica de analizar el movimiento amortiguado y el movimiento forzado de un cuerpo inmerso en un fluido (figura 4). Se trata de movimientos en que un fluido viscoso opone resistencia al movimiento de un cuerpo. La resolución de la primera situación implica una CE6 que describe un cuerpo que oscila bajo la acción de la fuerza de restitución (ϕ) aplicada por un resorte (debido a la tendencia de regresar a su forma original después de estirarlo o comprimirlo), el peso del cuerpo (P) y la fuerza resistiva que se opone al movimiento del cuerpo ejercida por el fluido a lo largo del desplazamiento x del cuerpo, y que se asume proporcional a la velocidad.

La resolución de la segunda situación implica una CE7 que incorpora, además de las fuerzas implicadas en CE6, la acción de una fuerza externa T periódica generada por un aparato electromecánico. A diferencia de las CE anteriores, la fuerza resistiva actúa en la misma dirección del movimiento del cuerpo, en un pequeño espacio x , pero con sentido opuesto al desplazamiento; también es proporcional a la velocidad, sin embargo, en la CE6 el cuerpo llega a reposo y en la CE7 la velocidad cambia de manera periódica.

Figura 3.
La fuerza de fricción en el contexto del rodamiento de los cuerpos.



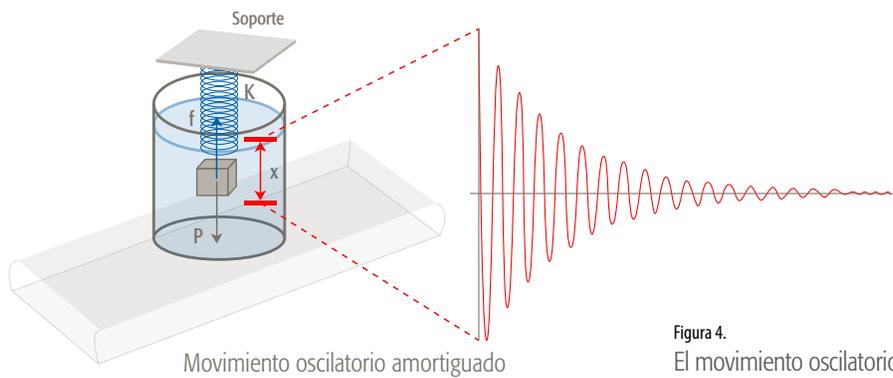
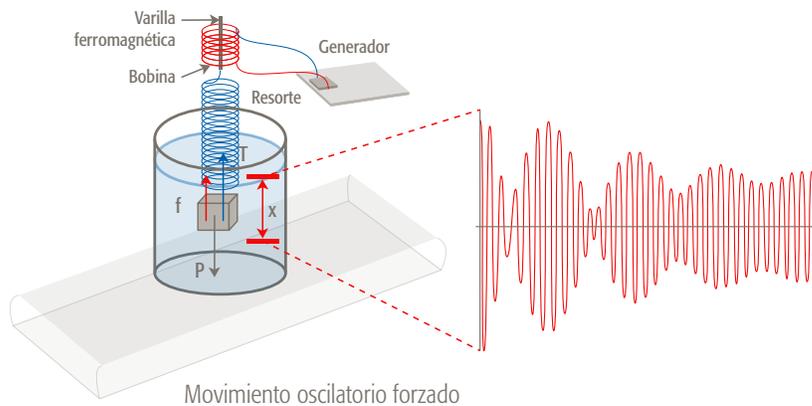


Figura 4. El movimiento oscilatorio de los cuerpos y la fuerza de fricción.



ca debido al efecto neto de la fuerza externa periódica.

El movimiento circular

En la vida cotidiana también nos encontramos con situaciones como la del movimiento de un automóvil en una curva (figura 5), donde la fuerza de fricción juega un rol totalmente distinto al que se enseña en el aula. Como otro elemento de la seguridad vial, las curvas de las carreteras son construidas con cierto peralte o inclinación (α) con el fin de evitar que los automóviles salgan de la carretera. En este contexto puede ser elaborada una CE8 donde la fuerza de fricción (f) es interpretada como aquella fuerza centrípeta (debido a que es una fuerza que se dirige hacia el centro de una trayectoria circular) que permite al automóvil con peso (mg) seguir una trayectoria circular. Una característica relevante de la fuerza

de fricción en este contexto, que no aparece en las CE anteriores, es que ésta tiene una dirección perpendicular al desplazamiento del automóvil.

El movimiento de los cuerpos sobre superficies planas

Situaciones cotidianas, como arrastrar una caja sobre una superficie horizontal o inclinada (figura 6), también involucran fuerza de fricción. Estas situaciones son problematizadas en los textos de física

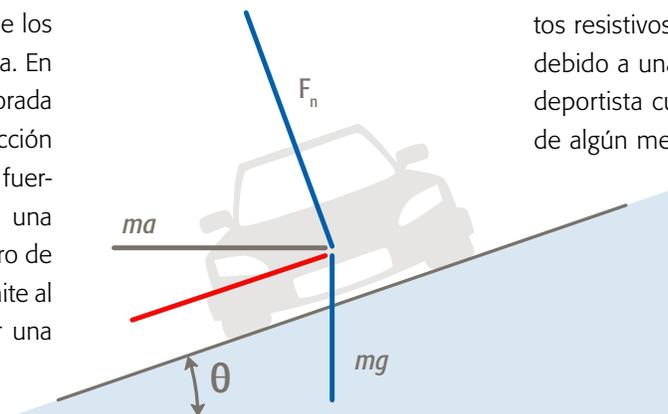


Figura 5. Carretera peraltada.

una vez que se ha presentado la definición de la fuerza de fricción f como aquella que se opone al movimiento del cuerpo y es proporcional a la magnitud de la ejercida por la superficie sobre el cuerpo.

La resolución de la situación-problema de jalar una caja con una cuerda implica una CE9 que considera a la fuerza de fricción opuesta al movimiento de la caja, pero cuya magnitud se va reduciendo (hasta cero, cuando la fuerza ejercida por el lazo es totalmente vertical) conforme el ángulo entre la cuerda y la horizontal se incrementa (figura 6). Mientras que la resolución del problema de empujar una caja sobre una rampa requiere de una CE10 en la que la fuerza de fricción se opone al empuje y su magnitud se incrementa (hasta que ocurre el deslizamiento de la caja) conforme la inclinación de la rampa se incrementa (figura 6).

El movimiento del cuerpo humano

En un contexto más complejo, la noción de fuerza de fricción también participa en la descripción del movimiento de cuerpos articulados, es decir, en cuerpos cuyas partes pueden moverse con ciertos grados de libertad, como en el caso del cuerpo humano. El conocimiento de los efectos resistivos, como el desgaste físico debido a una postura inadecuada del deportista cuando se mueve a través de algún medio fluido como el aire o

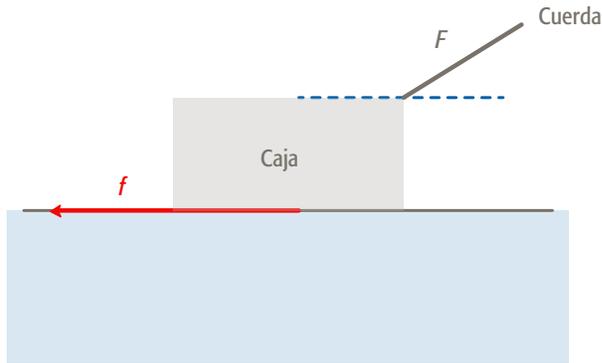
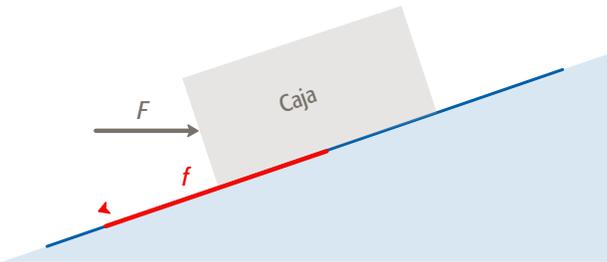


Figura 6. Situaciones que se describen en los libros de texto de física.



el agua, que son de gran interés para distintas disciplinas deportivas como el ciclismo, atletismo y natación, por mencionar algunos. Aunque la descripción física de estas situaciones resulta compleja, es posible aprovecharlas para la enseñanza de la fuerza de fricción.

En el movimiento de un corredor, la fuerza de fricción puede interpretarse de dos maneras (Gómez, Marquina y Gómez, 2013): la primera requiere de una CE11 que considera al corredor como una partícula, la cual adquiere una velocidad terminal debido a la acción de dos fuerzas: una constante (F_0) desarrollada a lo largo de la carrera y una de arrastre $D(u)$, que es la función de la velocidad horizontal del corredor

(figura 7). La segunda interpretación emerge de una CE12 en que se piensa al corredor como una partícula situada en el punto de contacto entre el suelo y el tenis; sobre ésta actúan la fuerza normal (N), el peso del corredor (P) y la fuerza de fricción (f), la cual tendrá el mismo sentido en que se desplaza el corredor según el pie de apoyo vaya de salida o de llegada. Se trata de dos formas de modelar a la fuerza de fricción muy distintas a aquellas que se han presentado en las situaciones físicas anteriores.

En los textos de física, algunas de las situaciones descritas anteriormente son segregadas en el contenido temático. Por ejemplo, la fuerza de fricción es presentada primero en situaciones que involucran al desplazamiento de una caja sobre una superficie rugosa, mucho antes de

aquellas que involucran a la fricción en el rodamiento de cuerpos y, de igual manera, situaciones que tratan el rodamiento de cuerpos se estudian mucho antes de abordar el tema de movimientos oscilatorios como el caso de CE6 y CE7.

Sin embargo, la complejidad de la fuerza de fricción (figura 2) brinda a los estudiantes una herramienta que les permite construir un concepto más adecuado, pues hace ver —entre otros aspectos— que no se tiene una definición o representación única de la fuerza de fricción, ya que algunas veces ésta puede ser pensada como proporcional a la velocidad (al cuadrado de la velocidad o a la fuerza normal) y otras veces actúa en sentido opuesto o en el mismo sentido que el desplazamiento del cuerpo, por mencionar algunas.

Algunos investigadores (Moreno, Font y Ramírez, 2016) han señalado que los alumnos comparan la idea generalizada de que la fuerza de fricción siempre tiene sentido opuesto al movimiento del cuerpo, como en el caso de CE9 y CE10, sin embargo, esta

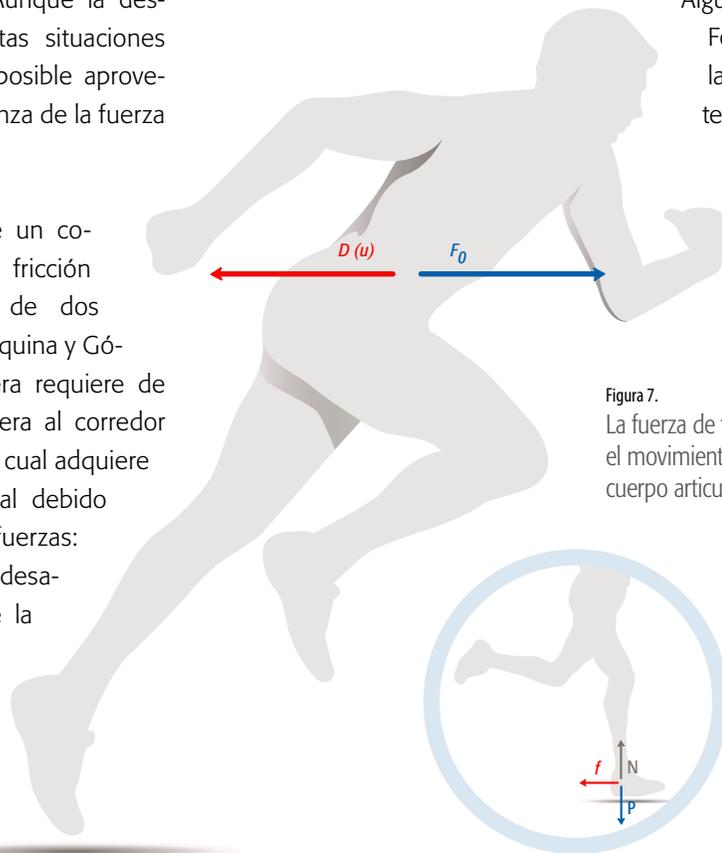


Figura 7. La fuerza de fricción y el movimiento de un cuerpo articulado.



NEHEMIAS MORENO MARTÍNEZ

Es doctor en Ciencias con especialidad en Matemática Educativa por el Cinvestav-IPN. Realizó el Posdoctorado en la Unidad de Investigación Educativa del Instituto de Ciencias de la Educación. Es profesor investigador en la Facultad de Ciencias de la UASLP, en donde desarrolla el proyecto "Construcción social del conocimiento matemático".



idea podría cambiar al analizar otras situaciones problemáticas como las CE (6, 7 y 12), donde la fuerza de fricción tiene el mismo sentido que el desplazamiento del cuerpo.

También es común encontrar creencias inadecuadas, como aquella que señala que la dirección de la fuerza de fricción es la misma que la del movimiento del cuerpo, la cual podría modificarse al abordar situaciones como las del tipo CE8, en que la fuerza de fricción tiene una dirección perpendicular a la del desplazamiento del cuerpo.

Propuestas para la enseñanza de la física

La complejidad también ayuda al aprendizaje de prácticas adecuadas de resolución de problemas, por ejemplo, es común encontrar que la mayoría de los estudiantes fracasan al resolver los que involucran a la fricción en el contexto del movimiento de cuerpos articulados, dado que tratan de emplear las mismas estrategias utilizadas en problemas de movimientos de cuerpos como cajas o pelotas, por mencionar algunas, por lo que es conveniente enseñarlos mediante ciertas estrategias que no requieran —de manera esencial— cálculos matemáticos complejos, pero que sí permitan ilustrar otras interpretaciones de la fuerza de fricción.

En conclusión, en la enseñanza de la física escolar es necesario tomar en cuenta la complejidad de las nociones físicas, y no mirarlas como objetos acabados y expresados por medio de una sola definición o expresión matemática. Se trata de ver las nociones físicas a través de su uso o de lo que

puede hacerse con ellas en los distintos contextos o situaciones físicas problematizadas, para que los estudiantes atribuyan un significado holístico y objetivo.

Esto puede llevarse a cabo paulatinamente en la práctica docente, por medio de la implementación de tareas escolares que involucren diversos contextos; por ejemplo, para el caso de la enseñanza de la fuerza de fricción, el estudio realizado por Moreno, Font y Ramírez (2016) sugiere la importancia de diseñar clases prácticas que sean apoyadas en la resolución de diversos ejemplos y problemas mejor contextualizados, extraídos a partir de la revisión de distintos libros de texto o de la adaptación de propuestas didácticas. 

Referencias bibliográficas:

- Calderon, S. E., González, S. L. y Gil, S. (2011). Determinación de la fuerza de roce con el aire usando nuevas tecnologías. *Revista de Enseñanza de la Física*, 20 (1 y 2), pp. 55-64.
- Gómez, J. H., Marquina, V., y Gómez, R. W. (2013). On the performance of Usain Bolt in the 100 m sprint. *European Journal of Physics*, 34 (5), pp. 1227-1233.
- Leal, F. M., Porta, Á., y Sandoval, J. L. (1987). Oscilaciones armónicas: Un experimento completo. *Revista Mexicana de Física*, 33 (9), pp. 99-512.
- Moreno, M. N., Font, M. V. y Ramírez, M. J. C. (2016). La importancia de los diagramas en la resolución de problemas de cuerpos deformables en Mecánica: el caso de la fuerza de fricción. *Ingeniare. Revista Chilena de Ingeniería*, 24 (1), pp. 158-172.
- Rondero, C. y Font, V. (2015). Articulación de la complejidad matemática de la media aritmética. *Enseñanza de las Ciencias*, 33 (2), pp. 29-49.