DOI: 10.5007/2175-7941.2010v27n3p515

LA ENERGÍA Y SU CONSERVACIÓN. APLICACIÓN EN UNA SITUACIÓN PROBLEMÁTICA[+*]

María Teresa Perrotta
Beatriz Rosario Follari
Gilda Noemí Dima
Elena Ester Gutiérrez
Departamento de Física – Universidad Nacional de La Pampa
Santa Rosa – La Pampa Province
Argentina

Resumen

A partir de investigaciones desarrolladas en la década de 1980 sobre la enseñanza del trabajo y de la energía, algunos textos de uso habitual se han modificado. Se presenta una situación problemática que puede ayudar a comprender la conservación de la energía donde se consideran la elección de diferentes fronteras para el sistema, el movimiento del centro de masas, los movimientos internos y la energía interna para sistemas de partículas.
El problema puede ser propuesto a estudiantes de cursos universitarios básicos de Mecánica. Se desarrolla una solución completa que puede ser tomada como un ejemplo de la aplicación de los conceptos mencionados que, se espera, resulte de utilidad para otros docentes.

Palavras clave: *Conservación de la energía; propuesta didáctica; situación problemática; sistema en estudio.*

[+] Energy and its conservation. Application in a problem-solving situation

* *Recebido: abril de 2010.*
Aceito: julho de 2010.

Abstract

From investigations developed in the 80's about the teaching of work and energy, some texts of frequent use have been modified. It is presented a problem-solving situation that may help to understand the conservation of energy in which we consider: the election of different limits for the system, the movement of the mass center, the internal movements and the internal energy for the system of particles. The problem could be proposed to students of basic Mechanic University courses. It is developed a complete solution that may be taken into account as an example of the application of the concepts mentioned before that, we hope, could be of great use for other teachers.

Keywords: *Conservation of energy; didactic proposal; problem-solving situation; system under study.*

I. Introducción

Una tarea de los docentes de física es promover en los estudiantes actitudes positivas hacia la ciencia. Por ello aquí se presenta un problema que incentiva al estudiante a reflexionar sobre los conceptos físicos involucrados que darán solución a la situación planteada. Éste puede ser introducido en la clase con el objetivo de generar la discusión entre pares, con el fin de poder contrastar sus ideas e integrar conceptos. Al igual que la discusión grupal la argumentación en ciencias es otro aspecto importante que el docente debe fomentar en sus estudiantes (DE LA CHAUSSÉE ACUÑA, 2009; LINARES QUEIROZ; PASSOS SÁ, 2009), con lo cual se pretende que puedan organizar la información, discutir sus razonamientos, argumentar y que se expresen en el lenguaje propio de la física

La "resolución de problemas" es considerada un soporte metodológico muy importante en el proceso de enseñanza y aprendizaje. Los resultados aportados por las líneas denominadas "expertos" y "novatos" que, en general, son profesores y estudiantes de física respectivamente (LARKIN et al. 1980; COLEONI; GANGOSO; HAMITY, 2007) han promovido propuestas curriculares importantes tendientes a mejorar, tanto el desempeño de los alumnos de física al momento de resolver problemas como la comprensión conceptual. La presentación de un problema como una situación estimulante permite que se produzca un desacomodo estructural que al encontrar la solución desaparece y da lugar a una estructura nueva y más perfeccionada (ALDA; HERNÁNDEZ, 1998; GIL PÉREZ; VALDÉS CASTRO, 1997).

En el presente trabajo mostramos una situación problemática que puede ayudar a comprender la conservación de la energía cuando aparecen distintos tipos de fuerza. La actividad será provechosa para los alumnos ya que permitirá la selección del modelo adecuado, la discusión entre pares proponiendo un análisis más completo que el de los ejercicios que tradicionalmente se presentan.

II. Fundamento teórico

Si nos centramos en la problemática de la enseñanza de la física, hay investigaciones de la década del 80 que proponen una nueva manera de tratar el trabajo de la fuerza de fricción. Se demostró entonces que no puede calcularse como el producto escalar de la fuerza de rozamiento por el desplazamiento del centro de masa y además se replantea la enseñanza de la conservación de la energía en sistemas de partículas (MUNGAN, 2007; MUNGAN, 2005; ARONS, 1999; LAWSON; McDERMOTT, 1987; SOLOMON, 1985; SHERWOOD; BERNARD, 1984).

En la quinta edición (en inglés) del texto "Física" de Resnick; Halliday y Krane (2004), ampliamente difundido en nuestras aulas universitarias, se presenta el tema energía tomando estos resultados y organizándolos para ser utilizados por docentes y estudiantes.

Uno de los aspectos fundamentales de esta propuesta es seleccionar claramente la frontera del sistema en estudio lo que permite determinar cuáles son las fuerzas internas y externas. Si el sistema no puede considerarse como una partícula o un cuerpo rígido, es necesario plantear lo que ocurre con el centro de masa del sistema y cómo los cambios de forma y los movimientos internos deben ser tenidos en cuenta en el análisis de la conservación de la energía. Esto se aplica también a los sistemas donde actúan fuerzas de rozamiento, ya que corresponde a movimientos microscópicos de las moléculas que se encuentran sobre las superficies.

Para los sistemas mencionados anteriormente se clasifica la energía del sistema en tres clases: potencial, cinética e interna. Esta energía interna también es potencial o cinética pero es, o bien de origen microscópico o macroscópico debido a las interacciones y movimiento de las distintas partes que forman el sistema que resultan difíciles de expresar en forma exacta.

El análisis de este tipo de sistemas, se lleva a cabo planteando dos ecuaciones:

1. La ecuación de energía del centro de masa (CDM), que surge de la segunda ley de Newton.

Si se tiene un sistema de N partículas las fuerzas sobre la partícula i-ésima es:

$$F_{i\,ext} + \sum_{j=1}^{N} F_{ij} = m_i\, a_i \qquad donde\ i \neq j \tag{1}$$

La fuerza total sobre el sistema es la suma sobre todas las fuerzas internas y externas. Las fuerzas internas se anulan de a pares ya que $F_{ij} = F_{ji}$. Por lo que se obtiene:

$$\sum_{i=1}^{N} F_{i\,ext} = \sum_{i=1}^{N} m_i\, a_i = M\, a_{CM} \tag{2}$$

Integrando sobre el desplazamiento del centro de masa del sistema:

$$\int F_{ext}\, dx_{CM} = K_{f,CM} - K_{i,CM} = \Delta K_{CM}$$

$$si\ F_{ext}\ es\ constante\quad F_{ext}\, s_{CM} = K_{f,CM} - K_{i,CM} = \Delta K_{CM} \tag{3}$$

Estas expresiones se parecen al teorema del trabajo y la energía cinética. Es importante señalar que aunque el primer miembro se asemeja al trabajo (*W)*, no lo es, porque dx_{CM} y s_{CM} no representan el desplazamiento del punto de aplicación de la fuerza externa, sino el desplazamiento del centro de masa (CM) y la ΔK_{CM} del segundo miembro se refiere sólo a la energía cinética traslacional del CM. El desplazamiento del centro de masa no representa los desplazamientos individuales de las partículas.

Algunos autores lo llaman "seudotrabajo" o "trabajo de las fuerzas externas aplicadas en el CM".

2. La ecuación de conservación de la energía (CDE)

$$Wext. + Q = \Delta K + \Delta U + \Delta Eint \tag{4}$$

$$Wext. + Q = \Delta E_{TOTAL} \tag{5}$$

donde *K* es la energía cinética asociada al movimiento total (traslacional y/o rotacional) de los cuerpos del sistema, *U* es la energía potencial relacionada con las fuerzas conservativas entre los cuerpos del sistema, $E_{int} = K_{int.} + U_{int.}$ es la energía interna del sistema y *Q* es la transferencia de energía al sistema debido a la diferencia de temperatura.

La ecuación (5) es la formulación más general que podemos hacer sobre la conservación de la energía en un sistema. Se conoce como ***Primera Ley de la Termodinámica.***

Si bien en el texto de Resnick (2004) se resuelven algunas situaciones con aplicación de las ecuaciones (CDM) y (CDE), consideramos útil redactar y ofrecer más ejemplos a nuestros estudiantes.

Por lo expuesto, los autores del presente trabajo reformularon y pusieron en práctica un problema incluido en el texto de Serway y Jewet (2004). Se agrego otra situación para analizar y se han modificado los datos con el propósito de acercarlo a la realidad. Se propone una solución aplicando consideraciones energéticas.

III. Problema propuesto

Jane, cuya masa es de 50 kg tiene que cruzar un río de 30 m de ancho, lleno de cocodrilos, para encontrarse con Tarzán, de 70 kg, que la espera en la otra orilla. Jane debe luchar contra un viento que ejerce una fuerza horizontal con un valor promedio de 4 N ($\boldsymbol{F}_v$), balanceándose en una liana.

a) Realice un análisis utilizando consideraciones energéticas de las acciones que debe realizar para cruzar el río (fuerzas, velocidades de partida y de llegada), en las siguientes situaciones:

a_1) en el caso en que ambas orillas del río están al mismo nivel (Figura 1),

a_2) En el caso en que la orilla en la que está Tarzán está 4 m por debajo de la de Jane (Figura 4).

b) Resuelva las situaciones a_1 y a_2, pero pensando que Jane y Tarzán cruzan juntos para regresar al punto del cual partió Jane. La fuerza que ejerce el viento es proporcional a la velocidad relativa entre el objeto y el aire y es mayor cuanto mayor es el área frontal. Si bien en el regreso la velocidad relativa es menor, la superficie frontal ofrecida al viento es mayor. Por esto, suponemos que la fuerza promedio del viento sobre Jane y Tarzán es de 5N.

Solución

a_1) Para resolver esta situación es elegir un sistema de análisis, lo que determina cuáles son las fuerzas externas e internas. Generalmente existen varias opciones, se presenta la solución para dos delimitaciones de sistema diferentes.

✓ **El sistema está constituido sólo por Jane**

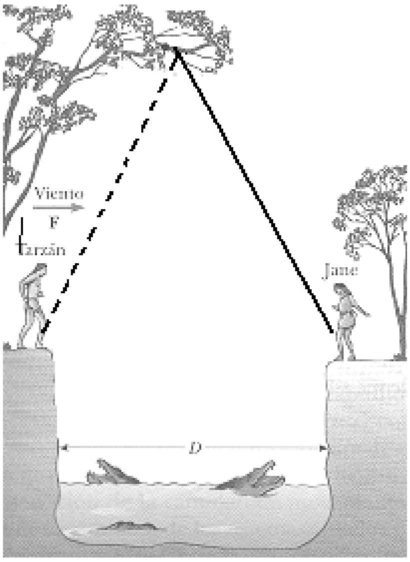

Fig.1

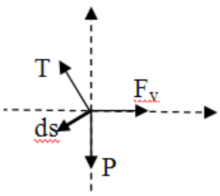

Fig. 2

En el diagrama se representan las fuerzas que actúan sobre Jane en un instante en el que está colgada de la liana, cruzando el río, donde **T** es la tensión de la liana**, F**$_v$ la fuerza que ejerce el viento y **P** el peso. En este caso todas las fuerzas son externas.Se indica también el vector desplazamiento **ds.**

En el diagrama se representan las fuerzas que actúan sobre Jane en un instante en el que está colgada de la liana, cruzando el río, donde **T** es la tensión de la liana**, F**$_v$ la fuerza que ejerce el viento y **P** el peso. En este caso todas las fuerzas son externas.Se indica también el vector desplazamiento **ds.**

Analizaremos primero lo que ocurre desde que Jane, colgada de la liana, empieza a cruzar el río hasta el instante en que se encuentra con Tarzán en la otra orilla, suponiendo que su velocidad en ese instante es cero.

La ecuación de conservación de la energía es:

$$W_{ext} = \Delta K + \Delta U + \Delta E_{\text{int}}$$

$$W_P \ + W_T \ + W_v = \Delta K + \Delta E_{\text{int}}$$

donde W_P es el trabajo de la fuerza Peso, W_T es el trabajo de la tensión y W_v el trabajo realizado por el viento.

Como Jane llega a la otra orilla al mismo nivel del cual partió, el trabajo del peso es cero, ya que el trabajo realizado en la primera mitad de la trayectoria es igual y de signo contrario al realizado en la segunda mitad. También es nulo el trabajo de la tensión ya que siempre es perpendicular al desplazamiento. La fuerza del viento, la cual es constante, produce un trabajo cuya expresión es:

$$W_v = \int_0^D F_{vx} \cdot d_x = -F_v \ D = -4N \ 30m = -120J$$

Si tomamos a Jane como una partícula, $\Delta E_{\text{int}} = 0$ y todo el trabajo externo será igual a su cambio de energía cinética, como puede verse en la ecuación CDE (4). Por lo tanto, $\Delta K = -120J$ Esto indica que hay una disminución de la energía cinética, por lo que Jane debió iniciar su movimiento con cierta velocidad inicial y de esta forma puede llegar con velocidad cero hasta el punto donde la espera Tarzán.

Podemos calcular cuál fue esa velocidad inicial:

$$v = \sqrt{\frac{2K}{m}} = \sqrt{\frac{2 \ 120J}{50kg}} = 2.2\frac{m}{s}$$

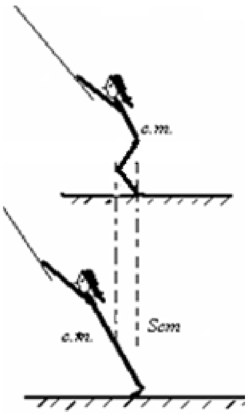

Fig. 3

Para lograr esta velocidad, Jane empuja el piso con una fuerza de rozamiento estática hacia atrás. La reacción de esta fuerza empuja a Jane hacia delante. A esta fuerza la llamaremos F_{ext}. De esta manera ella consigue que su centro de masa adquiera una velocidad aproximadamente horizontal (el movimiento es un poco más complicado porque tiene que "subirse" a la liana, pero vamos a simplificarlo).

Si escribimos la ecuación CDM (3) para este tramo del movimiento, tenemos:

$$F_{ext} \ \ s_{cm} = \Delta K_{cm} \qquad CDM$$

y la ecuación de conservación de la energía, CDE (4), para la misma situación, queda:

$$\Delta K_{cm} + \Delta E_{\text{int}} = W_{ext} \qquad CDE$$

donde ΔK_{cm} es la variación de la energía cinética traslacional del CM de Jane. Como F_{ext} no realiza trabajo, ya que los pies no se desplazan, W_{ext} es cero,

$$\Delta K_{cm} = -\Delta E_{\text{int}}$$

Esto quiere decir que Jane aumenta su energía cinética en 120J a expensas de su energía interna (de su metabolismo) hasta alcanzar la velocidad necesaria para iniciar el cruce del río, por lo cual

$$\Delta E_{\text{int}} = -120J$$

Combinando las ecuaciones CDM y CDE, vemos que el cambio de energía interna es el producto de F_{ext} por el desplazamiento del centro de masa de Jane. Si suponemos que s_{cm} es de unos 30 cm, podemos estimar qué valor debe tener la fuerza que deben ejercer los pies sobre el piso:

$$F_{ext} = \frac{120\,J}{0.3\,m} = 400\,N$$

Esta fuerza parece grande. ¿Podrán las piernas de Jane ejercer una fuerza de esa magnitud? Otra opción es que corriera hasta el punto donde está la liana, y así adquiriera la velocidad inicial para el cruce.

✓ **El sistema está integrado por Jane y la Tierra**

En este caso la fuerza externa es la del viento. La ecuación (4) toma la forma:

$$\Delta K + \Delta U_G + \Delta E_{\text{int}} = W_v$$

donde el cambio de energía potencial gravitatoria (ΔU_G) es cero. En el caso de considerar a Jane un cuerpo puntual, obtenemos nuevamente para la velocidad inicial 2.2 m/s.

Ahora podríamos pensar como fue posible que Jane adquiriera esa velocidad, y la respuesta es que debió impulsarse estirando sus piernas. La energía necesaria para realizar este movimiento (que utilizará para cruzar el río) proviene de su metabolismo, como ya dijimos.

a_2) Consideremos el caso en que la orilla donde está Tarzán se encuentra 4 m por debajo de la de Jane.

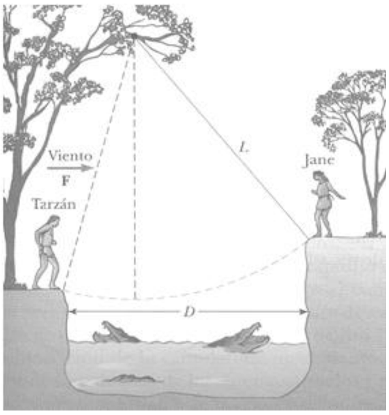

Fig. 4

✓ **El sistema incluye únicamente a Jane**

Valen las mismas consideraciones realizadas en el caso a_1. La única diferencia es que en este caso el peso, que es una fuerza externa, realiza trabajo.

$$W_P = m\,g\,\Delta h = 50\ kg\ \ 9{,}8\ \frac{m}{s^2}\ \ 4\,m = 1960\ J$$

Si llevamos este resultado a la ecuación de conservación de la energía (3):

$$W_P + W_T + W_v = \Delta K + \Delta E_{\text{int}}$$

obtenemos para el trabajo total un valor de 1840 J. Entonces, la variación de la energía cinética será de 1840 J y Jane puede partir del reposo, esto es “dejarse llevar”. En este caso llegará a la otra orilla con una velocidad de:

$$v = \sqrt{\frac{2K}{m}} = \sqrt{\frac{2\ \ 1840\,J}{50\,kg}} = 8.6\ \frac{m}{s}$$

Acá podría pensarse como hará Jane para detenerse una vez que llegue a la otra orilla. Necesitará una fuerza en dirección contraria a la de su movimiento que la podría ejercer el piso o Tarzán al recibirla.

✓ **Sistema formado por Jane y la Tierra**

En este caso, el aire se considera fuera del sistema. Por lo tanto, el trabajo de las fuerzas externas es W_v y la ecuación es:

$$\Delta K + \Delta U_G + \Delta E_{\text{int}} = W_v$$

Como se calculó anteriormente, W_P = 1960 J y por lo tanto, ΔU_G es de -1960 J. Al realizar los cálculos (si Jane se considera como una partícula), encontramos que la velocidad final será 8.6 m/s.

b) Vamos a analizar el regreso de Tarzán y Jane juntos.

a_1) Si ambas orillas se encuentran al mismo nivel.

✓ **Sistema integrado por Jane y Tarzán**

En este caso, todas las fuerzas son externas. Como ya dijimos antes, vamos a pensar a Jane y Tarzán como una partícula. Por las mismas consideraciones que se efectuaron para Jane en a_1, el trabajo del peso y de la tensión son cero, por lo que el trabajo de la fuerza del viento será igual al cambio en su energía cinética, según la ecuación 3. Este trabajo es de 150 J. Como es positivo, la variación de la energía cinética es mayor que cero por lo tanto para llegar a la otra orilla sólo tienen que "dejarse llevar" por el viento. Entonces llegarán a la otra orilla con una velocidad de:

$$v = \sqrt{\frac{2\ K}{m}} = \sqrt{\frac{2\ \ 150\,J}{120\,kg}} = 1.6\ \frac{m}{s}$$

✓ **El sistema incluye a Jane, Tarzán y la Tierra**

Ahora la única fuerza externa es el viento y la ecuación de conservación de la energía es:

$$\Delta K_{\ v} + \Delta U_G + \Delta E_{\text{int}} = W_v$$

Consideramos nuevamente que no hay cambio en la energía interna. El cambio de la energía potencial gravitatoria es cero y el trabajo del viento es de 150 J. Si realizamos los cálculos correspondientes llegamos a que la velocidad con que Jane y Tarzán llegan a la otra orilla, si parten del reposo, es de 1.6 m/s.

a_2) Cuando la orilla donde estaba Tarzán está por debajo de la otra.

✓ **El sistema elegido es Jane y Tarzán**

$$W_P + W_T + W_v = \Delta K + \Delta E_{\text{int}}$$

Haciendo las mismas consideraciones anteriores, y teniendo en cuenta que el desplazamiento vertical es hacia arriba,

$$W_P = m\ g\,\Delta h\ \cos 180 = -\ 120\,kg\ \ 9.8\frac{m}{s^2}\ \ 4\,m = -\ 4704\,J$$

El trabajo del viento es ahora positivo y vale 150 J. El trabajo total será de –4554 J, lo que significa una disminución de la energía cinética de la misma magnitud. Para llegar a la otra orilla deben impulsarse. Si se calcula la velocidad que necesitan se encuentra que vale de 8.7 m/s. Es una velocidad muy grande para una persona (31 km/h). Resulta imposible que vuelvan en estas condiciones utilizando la liana. Tendrán que caminar hasta algún lugar más favorable.

✓ **Sistema compuesto por Jane, Tarzán y la Tierra**

Del análisis de la ecuación de conservación de la energía, dado que la fuerza que ejerce el viento es externa, tenemos:

$$\Delta K + \Delta U_G + \Delta E_{\text{int}} = W_v$$

donde: $\Delta U_G = 4704\,J$, el trabajo del viento es de 150 J y la variación de energía interna de Tarzán, Jane es cero ya que los consideramos como una partícula. Realizando los cálculos encontramos que la variación de la energía cinética es de – 4554 J y la velocidad con la que deben partir: 8.7 m/s.

✓ **Sistema compuesto por Jane, Tarzán, el aire y la Tierra**

Del análisis de la ecuación de conservación de la energía, dado que todas las fuerzas son internas, tenemos:

$$\Delta K + \Delta U_G + \Delta E_{\text{int},TJaire} = 0$$

donde: $\Delta U_G = 4704\,J$, si la variación de energía cinética del centro de masas es de - 4554 J, entonces la variación de energía interna de Tarzán, Jane y el aire que los rodea es 150 J.

IV. Comentarios finales

Este problema fue presentado como ejemplo a un grupo de alumnos al final de un curso de Mecánica Newtoniana y a un grupo de docentes en un taller que las autoras dictaron, con el objetivo de que analicen cómo se aplican las leyes fundamentales de la Mecánica y en particular el teorema de conservación de la energía para su solución.

Creemos que esta situación problemática puede ser resuelta por los estudiantes y de esa manera promover en ellos un análisis crítico, reconociendo las distintas variables que intervienen, eligiendo el sistema de estudio, indicando las fuerzas que actúan clasificándolas en externas e internas y aplicando las leyes de conservación de la energía. Sería conveniente generar la discusión entre pares, con el fin de poder contrastar sus ideas e integrar conceptos.

Se piensa que este problema incentivaría al estudiante a reflexionar sobre los conceptos físicos involucrados que darán solución a la situación planteada y profundizar en particular la conservación de la energía y le permitiría alcanzar una mayor apertura mental para abordar un mismo problema de distintas maneras.

Referencias bibliograficas

ALDA, F. L.; HERNÁNDEZ, M. D. Resolución de problemas. **Cuadernos de Pedagogía**, Barcelona, v. 265, n. 28, p. 28-32, enero 1998.

ARONS, A. B. Development of energy concepts in introductory physics courses. **American Journal of Physics**, Massachusetts, v. 67, n. 12, p. 1063, dic. 1999.

COLEONI; E; GANGOSO Z.; HAMITY, V. Novatos Exitosos: un análisis de resoluciones de un problema de olimpiada de Física. Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias, Vigo, España, v. 6, n. 2, p. 457-470, may. 2007.

DE LA CHAUSSÉE ACUÑA, M. E. Las estrategias argumentativas en la enseñanza y el aprendizaje de la química. **Educación Química**, México DF, v. 20, n. 2, p. 143-155, abr. 2009.

GIL PÉREZ; D.; VALDÉS CASTRO, P. La resolución de problemas de Física: de los ejercicios de aplicación al tratamiento de situaciones problemáticas. **Revista de Enseñanza de la Física**, Córdoba, Argentina, v. 10, n. 2, p. 5-20, nov. 1997.

LARKIN; H et al. Expert and novice perfomance in solving physics problem. **Science**, v. 208, p. 1335-1342, jun. 1980.

LAWSON, R. A.; McDERMOTT, L. Student Understanding of the Work – Energy and Impulse – Momentun Theorems. **American Journal of Physics**, Massachusetts, v. 55, n. 9, p. 811-817, sep. 1987.

LINARES QUEIROZ, S.; PASSOS SÁ, L. O Espaço para a argumentação no Ensino Superior de Química. **Educación Química**, México DF, v. 20, n. 2, p. 104-110, abr. 2009.

MUNGAN, C. E. Thermodinamics of a block sliding across a frictional surface. **The Physics Teacher**, Boone, v. 45, p. 288-291, may 2007.

MUNGAN, C. E. A Primer on Work-Energy Relationships for Introductory Physics. The Physics Teacher, Boone, v. 43, p. 10-16, enero 2005.

RESNICK, R.; HALLIDAY, D.; KRANE, K. **Física**. México: Compañía Editorial Continental, 2004. 566 p. v. 1.

SERWAY, R. A.; JEWET, J. W. **Física I**. México: Thomson, 2004. 663p.

SHERWOOD, B. A.; BERNARD, W. H. Word and heat transfer in the presence of sliding friction. **American Journal of Physics**, Massachusetts, v. 52, n. 11, p. 1001-1007, nov. 1984.

SOLOMON, J. Teaching the conservation of energy. **Physics Education**, v. 20, p. 165-170, jul.1985.