Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 33, n. 1, 1311 (2011)
www.sbfisica.org.br

Una aplicación del teorema de conservacion de la energía como problema integrador

(An application of the energy conservation theorem as a problem of integration)

Beatriz Follari[1], María Teresa Perrotta, Gilda N. Dima y Elena E. Gutiérrez

Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, U.N. de La Pampa, Santa Rosa, Argentina
Recebido em 25/2/2010; Aceito em 20/3/2010; Publicado em 30/3/2011

Se muestra aquí la solución de una situación problemática contextualizada, distinta de los ejercicios que tradicionalmente realizan los estudiantes. Se enmarca en la estrategia de resolución de Problemas Ricos en Contexto, donde los alumnos se involucran activa y responsablemente para dar respuesta a lo planteado. Fue presentada a los alumnos de la Licenciatura y Profesorado en Física de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la UNLPam, al finalizar el curso de Física II (mecánica newtoniana) en el año 2009, quienes aplicaron los teoremas de conservación del momento angular y de la energía, las leyes de Newton y las ecuaciones de movimiento en forma integrada para su resolución.
Palabras-clave: problemas ricos en contexto, conservación de la energía, momento angular, estrategia didáctica.

It is shown here the solution of a problematic situation in context, which is quite different from the exercises solved by the students usually. It is framed in Rich Problems in Context's strategy of solution, in which the students are involved actively and reliably for giving the answer. This problematic situation was presented to students of Bachelor in Physics and Teaching Training in Physics in the College of Exact and Natural Sciences of the National University of La Pampa, Argentine, at the end of the course of Physics II (Newtonian mechanics) in the year 2009. The students applied in the resolution the angular momentum conservation, energy theorems, Newton's laws and movement equations in an integrated way.
Keywords: rich problems in context, conservation of the angular momentum and energy, didactic strategy.

1. Introducción

Generalmente es muy común que los conceptos de energía y de conservación de la energía sean presentados por la mayoría de los docentes sin indagar sobre las ideas previas que sus estudiantes tienen sobre ellos [1].

Entre los textos de física básica Universitaria que se utilizan habitualmente [2-9] cuando tratan la conservación de la energía pocos son los que hacen hincapié con detalle en el concepto de sistema [6, 9]. Consideramos que este aspecto no debería dejarse de lado dado que los libros de texto son un recurso muy utilizado por los alumnos para las clases de ciencia [10].

Tal vez una de las alternativas a las cuales los docentes deben recurrir es el planteo de problemas en los cuales se pueda realizar una integración de los conceptos mencionados en el párrafo anterior, dejando así de ser una actividad de lápiz y papel un tanto mecánica. Los problemas presentados de esta manera deben ser interpretados como una actividad que permite a los estudiantes alcanzar nuevos aprendizajes y construir su conocimiento activamente basado en lo que ya sabe [11].

De esta manera, 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" (en general son profesores y estudiantes de física respectivamente) 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 [12].

Este recurso didáctico es intensamente investigado a partir de principios de la década de los ochenta, y es abordado desde distintos puntos de vista, a saber: resolución de problemas como investigación [13-15], expertos – novatos [16, 17]; reproductivos y creativos [18].

La presentación del problema como una situación estimulante permite "una perturbación estructural que desaparece con la solución, dando lugar a una nueva y más perfeccionada estructura" [19, 20].

En el presente trabajo mostramos una situación contextualizada, distinta de los ejercicios que tradicional-

[1]E-mail: bfollari@exactas.unlpam.edu.ar.

mente se presentan a los estudiantes. Nuestra propuesta de trabajo se encuentra enmarcada en la estrategia de resolución de problemas en grupos cooperativos, desarrollada por el grupo de Investigación en Enseñanza de la Física que dirigen Heller, K. y Heller, P. [21] de la Universidad de Minnessota. Ésta consiste en una metodología de resolución de problemas ricos en contexto (PRC). Dicha estrategia de enseñanza se basa en la resolución de problemas que presentan una situación cotidiana o razonablemente real, con un directo involucramiento del alumno en la resolución del problema. De esta manera el aprendizaje tiende a resultar significativo para el estudiante [22], a la vez que promueve la aplicación de la física a una situación de interés práctico fuera del aula.

Este problema fue presentado a un grupo de alumnos al final de un curso de mecánica newtoniana, con el objetivo de que recurran a las leyes fundamentales de la mecánica, en particular a los teoremas de conservación para su solución ($\Delta K + \Delta U + \Delta E_{int} + ... = W_{ext} + Q$) [6].

La resolución del problema permite realizar un análisis crítico del mismo reconociendo las distintas variables que intervienen, estimando sus valores y aplicando las leyes correspondientes.

2. Marco teórico

El docente es el encargado de realizar la programación de los procesos de enseñanza y de aprendizaje. Debe establecer los objetivos del curso, seleccionar los contenidos, su secuencia, su distribución en el tiempo, como así también los recursos, los materiales, las estrategias de enseñanza y la evaluación [23].

El conocimiento se construye y esa construcción es continua [24]. En particular el conocimiento científico se construye estableciendo una relación de similitud entre un hecho y el modelo teórico que lo interpreta [25, 26]. Estos modelos, en general son simples y no están explicitados por el alumno, aunque le permiten explicar fenómenos y pueden evolucionar a lo largo de la escolarización. En esto se acuerda con Piaget [27] en que el conocimiento progresa, aunque existen diferencias importantes en la evolución y persistencia de las ideas de los estudiantes según el campo de la física que se analice [28].

Es por todos nosotros conocido que en la generalidad de los libros de texto se presenta una serie de ejercicios en las que los estudiantes deben hacer uso de alguna ecuación y/o concepto físico para darle solución, lo cual lleva a realizar un análisis parcializado de la situación.

Nuestra tarea como docentes de física es promover en los estudiantes actitudes positivas hacia la ciencia. Por ello la propuesta didáctica presentada tiende a obligar al estudiante a reflexionar sobre los conceptos físicos involucrados que darán solución a la situación planteada. Ésta puede ser introducida 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, 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 [27].

2.1. El problema propuesto

Usted tiene una amiga atleta, Guadalupe, que se está preparando para participar en un torneo de saltos ornamentales. Para ello empieza a entrenar en una piscina donde hay una plataforma de lanzamiento que se encuentra a 8 m de altura con respecto al agua. Tiene una masa de 52 kg y mide 1,65 m de altura. Al iniciar el salto ella dobla sus rodillas de tal forma que su CM se encuentra 0,42 m del piso. Cuando estira sus piernas dispuesta a dar el salto, el CM sube hasta 0,96 m y logra entonces una velocidad de 3 m/s formando un ángulo de 70° con la horizontal. Una vez en el aire la chica se encoge flexionando sus piernas y bajando los brazos. De esta manera da una vuelta en el aire. Finalmente se vuelve a estirar para caer con la cabeza hacia abajo.

A usted que es estudiante de física, esta situación lo motiva y decide analizar el movimiento de su amiga desde que se prepara para el salto hasta que ingresa al agua, estimando y calculando las variables puestas en juego y aplicando los conceptos aprendidos en el curso de mecánica.

La situación anterior fue implementada en un curso básico de física, una vez finalizado el estudio de los conceptos involucrados en su solución. La docente del curso lo entregó a sus estudiantes y les solicitó que entablaran una discusión y luego resolvieran fundamentando claramente su propuesta. El escrito elaborado por el grupo de alumnos fue entregado a la profesora quien realizó luego el análisis del mismo; éste se presenta más adelante. Además se llevó un registro donde se volcaron los aspectos más relevantes de la discusión estudiantil.

2.2. Solución propuesta para el problema por los autores

Para realizar el análisis de la situación se identifica en la Fig. 1 a) y b) con el número 1 al momento inicial en que la atleta está flexionada para saltar, con el número 2 el instante en el cual se despega del piso para efectuar el salto. El número 3 representa el momento en el cual la clavadista se encuentra en el punto más alto de su trayectoria con el cuerpo flexionado; y con el número 4 se identifica el instante en el cual llega al agua.

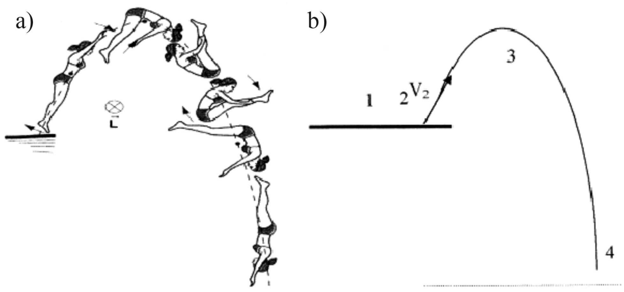

Figura 1 - a) Salto ornamental (Resnick *et al.* 2002, p. 216), b) Esquema del salto ornamental.

Como primera parte se analiza cómo hace la chica para conseguir su velocidad inicial, considerando la fuerza que el piso ejerce sobre sus pies, **F**. Si se elige como sistema de estudio la deportista solamente y se tiene en cuenta que inicialmente flexiona sus piernas (1) y las extiende (2) y que su velocidad inicial es cero y su peso es **P**; entonces la ecuación del centro de masa (CDM) queda expresada como

$$F^{ext}\,\Delta x_{\rm cm} = \Delta K,$$
$$(F - P)\ \Delta x_{\rm cm} = \frac{1}{2}\,m\,v_f^2 - \frac{1}{2}\,m\,v_i^2 = \frac{1}{2}\,m\,v_f^2.$$

Recordemos que esta ecuación corresponde al teorema del trabajo y la energía cinética, que se deduce de la Segunda Ley de Newton, por lo que la velocidad es la del centro de masas.

Se estima la fuerza que el piso de la plataforma ejerce sobre la chica (o la fuerza que ésta ejerce sobre la plataforma), F

$$F = \left[\frac{\frac{1}{2}\,m\,v_f^2}{\Delta x_{\rm cm}}\right] + P = 942.9\ \text{N}.$$

Ahora bien, en esta misma situación, si se toma como sistema a Guadalupe y la Tierra, la ecuación de conservación de la energía (CDE), es

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

Donde la energía cinética K es la del centro de masas de la chica (y de la Tierra, aunque el cambio de su energía cinética puede despreciarse) y la energía potencial U es la gravitatoria del sistema Tierra-Guadalupe, que aparece debido al trabajo de la fuerza de interacción gravitatoria entre ellas. Dentro de la energía interna deben incluirse todas las energías cinéticas que corresponden a movimientos que se producen dentro de la chica, sean macroscópicos o microscópicos, y las potenciales que surgen de interacciones conservativas dentro de ella, como pueden ser las correspondientes a las uniones químicas, entre otras.

En el sistema elegido no existen fuerzas externas y entonces el W_{ext} es nulo. Como la velocidad en (2) es 3 m/s, la ecuación queda

$$0 = \frac{1}{2}52\ \text{kg}\left[\left(3\,\frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 - 0\right] +$$
$$52\ \text{kg}\ 9.8\,\frac{\text{m}}{\text{s}^2}\ (0.96\ \text{m} - 0.42\ \text{m}) + \Delta E_{int}.$$

Realizando los cálculos se concluye

$$\Delta E_{int} = -509.18\ \text{J}.$$

¿De dónde proviene este cambio de energía interna? La respuesta es: “la energía necesaria para impulsar el salto proviene del metabolismo de la chica, adquirida en última instancia de los alimentos consumidos”.

Seguidamente se analiza el movimiento mientras está en el aire. El esquema muestra la trayectoria aproximada de su centro de masas, desde que se despega del suelo (2) hasta que llega al agua (4). Para simplificar los cálculos, se considera despreciable el rozamiento con el aire.

Guadalupe salta de la plataforma de modo que ésta le imparte un momento angular $\vec{L}$. Mientras está en el aire, sobre ella no actúa ninguna fuerza externa que produzca un torque que modifique el momento angular alrededor de su centro de masa, por lo que el momento angular **L** permanece constante. Cuando coloca su cuerpo en *posición de salto mortal* (3), disminuye su inercia rotacional y, por lo tanto, su velocidad angular deberá aumentar. La clavadista debe entrar al agua con la cabeza hacia abajo por lo que es necesario que gire 180°, y además dar una vuelta entera cuando se encuentra flexionada. El incremento de su velocidad angular le permite completar una revolución o vuelta. Al final del salto vuelve a extender su cuerpo disminuyendo su rapidez angular para entrar al agua en la posición correcta.

Para hallar el valor de la velocidad en (4) se debe comenzar analizando la situación entre los puntos (2) y (3) para luego hacerlo entre (3) y (4).

A continuación se define como sistema de estudio la tierra + Guadalupe. Entonces las fuerzas que actúan en el sistema, son en su totalidad internas y por lo tanto $W_{ext} = 0$.

Entonces la ecuación CDE es

$$\Delta K_t + \Delta K_r + \Delta U + \Delta E_{int} = 0, \qquad (1)$$

donde ΔK_t es el cambio de la energía cinética de traslación y ΔK_r es el cambio de la energía cinética de rotación.

Se realizan los cálculos de las velocidades que intervienen en esta ecuación. En el punto 2, su velocidad $v_2 = 3$ m/s. En el punto 3 su velocidad es

$$v_3 = v_{2x} = 3\,\frac{\text{m}}{\text{s}}\cos 70^\circ = 1{,}026\,\frac{\text{m}}{\text{s}}.$$

Como

$$\sum \tau^{ext} = 0 \Rightarrow \mathbf{L} = \text{cte.} \Rightarrow I_2\,\omega_2 = I_3\,\omega_3. \qquad (2)$$

Se deberán realizar algunas estimaciones para calcular I_2, ω_2 y ω_3. Además no tenemos en este caso una relación definida entre la velocidad del centro de masas y la velocidad angular.

• El momento de inercia (I_2), cuando se encuentra de pie y con los brazos estirados por sobre su cabeza, se calculará aproximando su forma a un cilindro macizo que gira con respecto a un eje perpendicular a su eje y que pasa por el centro de masas. La longitud de este cilindro es de aproximadamente 1.9 m (la chica tiene sus brazos estirados hacia arriba) y su radio será aproximadamente 14 cm

$$I_2 = \frac{1}{4}\, m\, R^2 + \frac{1}{12}\, m\, L^2 =$$
$$\frac{1}{4}\,52\text{ kg}\;\;0.14^2\text{ m}^2 + \frac{1}{12}\,52\text{ kg}\;1.9^2\text{ m}^2 =$$
$$15.9\text{ kg m}^2 \approx 16\text{ kg m}^2.$$

• Para estimar los valores de las velocidades ω_2 *y* ω_3, primero se realiza el cálculo del tiempo que Guadalupe está en el aire, que se obtiene planteando las ecuaciones de dinámica y cinemática que se indican a continuación

$$\sum \mathbf{F}_{ext} = m\,\mathbf{a} \Rightarrow \mathbf{P} = m\,\mathbf{g}.$$

Como la única fuerza que actúa sobre la persona es la fuerza peso, entonces la misma describe un movimiento parabólico, por lo que aplicando las ecuaciones correspondientes y tomando como origen de coordenadas el agua, justo debajo de la plataforma, se tiene que cuando llegue al agua la altura es cero ($y_f = 0$), entonces la ecuación que representa el movimiento que describe la muchacha, para el eje de las "y" es

$$0 = 8\,\text{m} + 3\,\frac{\text{m}}{\text{s}}\,\text{sen}\,70^\circ\,\Delta t - \frac{1}{2}\,g\,\Delta t^2,$$

y resolviendo la ecuación anterior se halla que $\Delta t = 1.6$ s.

Supongamos que la chica tarda 0.9 s en dar la vuelta completa y que en el momento en que está en el punto más alto de la trayectoria (3) está flexionada y realizando su vuelta. Esto significa que la velocidad angular en ese momento es

$$\omega_3 = \frac{2\,\pi}{0.9\;s} = 6.98\text{ s}^{-1} \approx 7\text{ s}^{-1}.$$

• En el tiempo que le resta (0.7 s) debe dar otra media vuelta Una parte la utiliza cuando está subiendo antes de flexionarse para dar la vuelta completa y otra luego de volver a estirar sus piernas para ingresar al agua de cabeza, por lo que su velocidad será

$$\omega_2 = \omega_4 = \frac{\pi}{0.7\,s} = 4.5\text{ s}^{-1}.$$

En todos los casos hemos aproximado los valores teniendo en cuenta que son estimaciones.

• El momento de inercia I_3 se calcula a partir de la conservación del momento angular expresado en (2)

$$I_3 = \frac{I_2\omega_2}{\omega_3} = \frac{16\,\text{kg m}^2\;4.5\text{ s}^{-1}}{7\text{ s}^{-1}} = 10,3\,\text{kg m}^2.$$

Por lo que, reemplazando los valores obtenidos se tiene

$$\Delta K_t = \frac{1}{2}\,m\,v_2^2 - \frac{1}{2}\,m\,v_1^2 = \frac{1}{2}\,52\text{ kg}\left(1,026\;\frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2$$
$$-\frac{1}{2}\,52\text{ kg}\left(3\;\frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 = -206.63\text{ J},$$
$$\Delta K_r = \frac{1}{2}I_2\omega_2^2 - \frac{1}{2}I_1\omega_1^2 = \frac{1}{2}\;10.3\text{ kg m}^2\left(7\frac{1}{\text{s}}\right)^2 -$$
$$\frac{1}{2}\;16\text{ kg m}^2\left(4.5\;\frac{1}{s}\right)^2 = 90.35\text{ J}.$$

• Para calcular la altura máxima alcanzada ($h_{máx}$), se plantea ahora la ecuación CDM tomando como sistema solamente a Guadalupe. Como la única fuerza externa que tenemos es el peso

$$\int_{x_2}^{x_3} F_{ext}\,dx_{CM} = \Delta K_t$$
$$-\,m\,g\,\Delta h_{máx} = \Delta K_t$$
$$\Delta h_{máx} = \frac{-\,206.63\text{ J}}{-\,52\text{ kg}\;9.8\,\frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 0.4\text{ m}$$
$$h_{máx} = 8.4\text{ m}$$

Teniendo en cuenta los cálculos anteriores y reemplazando en (1)

$$-\,206.63\text{ J} + 90.35\text{ J} + 52\text{ kg}$$
$$9.8\text{ m/s}^2\;0.4\text{ m} + \Delta E_{int} = 0.$$

Por lo que tenemos para la variación de energía interna

$$\Delta E_{int} = -\,\Delta K_{rot} = -\,90.35\text{ J}.$$

Existe una disminución de energía interna que debe atribuirse al movimiento de la para cambiar de forma (encogerse) y aumentar su energía cinética de rotación.

• Para calcular la velocidad v_4 con la cual llega al agua se plantea nuevamente la ecuación CDM, tomando como sistema a Guadalupe solamente y como la única fuerza externa que sigue actuando es el peso, se tiene

$$\int F_{ext}\, d_{xCM} \;=\; \Delta K_t$$

$$m\, g\, h_{_{máx}} \;=\; \tfrac{1}{2}\, m\, v_4^2 \;-\; \tfrac{1}{2}\; m\, v_3^2$$

$$v_4 \;=\; \sqrt{\left(\tfrac{1}{2}\, v_3^2 \;+\; g\, h_{_{máx}}\right)}^{2}$$

$$v_4 \;=\; \sqrt{\left(\tfrac{1}{2}\, 1.026^2\, \tfrac{\mathrm{m}^2}{\mathrm{s}^2} \;+\; 9.8\, \tfrac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}\, 8.4\ \mathrm{m}\right)^{2}}$$

Por lo que $v_4 \;=\; 12.9\ \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}$

• Se analiza el movimiento entre los puntos (3) y (4), eligiendo el sistema que incluye a Guadalupe y la Tierra. Si sustituimos, en la ecuación (1), los valores obtenidos para v_4, la altura máxima $h_{_{máx}}$ y teniendo en cuenta que en el punto (4) la deportista ha vuelto a estirar su cuerpo y su velocidad angular es $\omega_4 = \omega_2$, podemos averiguar la variación de la energía interna que aumenta a expensas de la disminución de la energía rotacional de manera inversa a lo que sucedía entre los puntos (2) y (3)

$$\Delta K_t \,+\, \Delta K_r \,+\, \Delta U \,+\, \Delta E_{int} \;=\; 0,$$
$$\Delta\, E_{\;interna} \;= 90.35\ \mathrm{J}.$$

Podría pensarse qué ocurriría si tuviéramos en cuenta el rozamiento con el aire, aunque efectuar cálculos sobre la base de datos próximos a la realidad, resulta bastante más complejo, teniendo en cuenta que la trayectoria no es rectilínea y que el rozamiento puede, además, ser función de la velocidad. Sobre la base de estos datos las discusiones pueden ser muy ricas por cuanto dan un marco más real y cercano a los conceptos que se trabajan en clase.

Otra discusión interesante sería tratar de explicar qué ocurre cuando se sumerge en el agua aunque el grado de dificultad es mayor.

2.3. Solución propuesta por el grupo de estudiantes

Esta situación problemática fue presentada a los alumnos de la Licenciatura y Profesorado en Física de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la UNLPam, al finalizar Física II (mecánica newtoniana) en el año 2009.

El docente les entregó el problema escrito y les solicitó que lo analizaran y resolvieran sobre la base de la totalidad de los conceptos estudiados en la asignatura. Se les solicitó que detallaran por escrito sus razonamientos y suposiciones así como también los cálculos y las conclusiones a las que arribaran. Fue discutido, analizado y resuelto entre los alumnos en forma grupal, con orientaciones generales por parte del profesor quien observó y registró las actividades llevadas a cabo.

En principio los estudiantes calcularon con qué fuerza fue impulsada la clavadista para iniciar el salto. Si bien el valor obtenido no fue correcto, el análisis oral fue interesante y atinado teniendo en cuenta todos lo factores que intervienen (torque, momento angular, velocidad del centro de masa, etc.) de acuerdo al registro de la clase.

Aplicaron satisfactoriamente la conservación de la energía para calcular la disminución de la energía interna entre los puntos 1 y 2, llegando a un resultado similar al que hemos realizado los autores.

Para analizar la etapa en que Guadalupe estaba en el aire, primero realizaron el cálculo del tiempo total de vuelo.

Al analizar el movimiento rotacional, reconocieron y aplicaron la conservación del momento angular pero en un segundo análisis. Es decir primeramente supusieron que en el punto más alto de la trayectoria (3) la deportista se encontraba con su cuerpo en forma horizontal, con lo que expresaron que había llegado a la altura máxima recorriendo 1/4 de vuelta, y sobre este supuesto estimaron el tiempo de giro y la velocidad angular (ω_{lento}).

Seguidamente con el tiempo de vuelo que les restaba calcularon la velocidad angular cuando la muchacha estaba encogida ($\omega_{_{rápido}}$) y les dio un valor próximo al anterior. Al finalizar la discusión y el análisis de esta opción, concluyeron que su estimación no era la correcta; entonces plantearon una segunda opción considerando nuevos tiempos de giros, los cuales les permitió encontrar los valores de las velocidades angulares ω_{lento} y $\omega_{_{rápido}}$. Siendo los mismos más razonables. Se puede comprobar aquí que este tipo de problemas incentiva a que los alumnos analicen sus resultados sin quedarse en el número final.

Sobre la base de los resultados hallados y la conservación del momento angular, calcularon el momento de inercia de la muchacha cuando estaba flexionada; suponiendo que este momento, cuando tenía los brazos estirados, era el de una varilla girando alrededor de su centro de masa. El resultado no fue el esperado, por que interpretaron mal la ecuación a utilizar (confundieron longitud con radio).

El teorema de la conservación de la energía lo aplicaron en dos oportunidades: a) entre el inicio del salto y el instante en el cual Guadalupe ingresa al agua, lo que les permitió calcular la velocidad en ese momento ($v \;=\; 12,88\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}$) y b) entre el inicio del lanzamiento y cuando pasa a la misma altura girando con la velocidad angular $\omega_{rápido}$, lo que les permitió calcular la variación de la energía interna que disminuye a expensas del aumento de la energía cinética rotacional. Los resultados encontrados por los alumnos no coinciden con los del grupo de investigación, debido a que calcularon mal el momento de inercia.

Tal lo que se pensó al inicio de esta actividad, la solución encontrada por los alumnos tuvo algunas diferencias con la de los autores. Esto puede atribuirse a la mayor experiencia de éstos.

3. Comentarios

El planteo de situaciones como la que tratamos en este trabajo puede utilizarse al final de un curso de mecánica newtoniana en un primer año de las carreras de Profesorado y Licenciatura en Física. En nuestro caso, los alumnos aplicaron los teoremas de conservación del momento angular y de la energía, las leyes de Newton y las ecuaciones de movimiento en forma integrada en su resolución.

La presentación de este tipo de problemas es una oportunidad interesante para tomar conciencia de los modelos que se adoptan para resolverlo y discutir sobre su razonabilidad. Esto se vio reflejado, por ejemplo, en la resolución de los estudiantes al tomar a Guadalupe como una varilla que gira alrededor de su centro de masa; además consideraron los efectos del rozamiento despreciable para analizar la situación.

Por otra parte, permite que los estudiantes sean capaces de observar una situación real, estimar los valores de las variables intervinientes a través del modelo elegido y realizar un análisis crítico de los resultados obtenidos modificando sus elecciones en función de éstos. En nuestro caso, esto se observó en la determinación de las velocidades angulares de la atleta en sus distintas posiciones.

También se piensa que el abordaje de situaciones que no están previamente estructuradas y no se encuentran en los libros puede resultar estimulantes y motivadoras ya que los obliga a buscar la aplicación de los conceptos en forma integrada, en situaciones reales.

La aplicación de la metodología de resolución de Problemas Ricos en Contexto (PRC) que hemos utilizado, fue muy satisfactoria. Se concuerda con Heller y Heller [21], en que el aprendizaje cooperativo o colaborativo enmarcado dentro de las distintas formas de trabajo en grupo, se caracteriza como una metodología activa y experiencial dentro de un modelo interaccionista de enseñanza y aprendizaje.

Referencias

[1] J. Solbes y F. Tarín, Enseñanza de las Ciencias **22**, 185 (2004).

[2] R.A. Serway, *Física* (Ed. Mc Graw-Hill, México, 1997), Tomo I.

[3] P.A. Tipler, *Física* (Ed. Revertém España, 1995), v. 1.

[4] M. Alonso y E. Finn, *Física* (Ed. Addison-Wesley Iberoamericana, 1995).

[5] J. Wilson, A. Bufa y B. Lou, *Física* (Ed. Pearson Educativa, México, 2003).

[6] R. Resnick, D. Halliday y K.Krane, *Física* (Ed. Compañía Editorial Continental, México, 2002), v. 1.

[7] J. Mckelvey y H. Grotch, *Física Para Ciencias e Ingeniería* (Ed. Harla, México, 1981), v. 1.

[8] H.D. Young, *Physics* (Ed. Addison-Wesley, United States of America, 1992).

[9] R. Serway; J. y Jewet, *Física I* (Ed. Thomson, México, 2004).

[10] E. Alomá y M. Malaver, Enseñanza de las Ciencias **25**, 387 (2007).

[11] L. Buteler y E. Coleoni, Memorias en CD del Noveno Simposio de Investigación en Educación en Física. Sección A_3, Área Temática 1 (2008).

[12] L. Mc Dermott y E. Redish, American Journal of Physics **67**, 755 (1999).

[13] D. Gil Pérez, A. Dumas-Carre, M. Caillot y J. Martínez Torregrosa, Studies in Science Education **18**, 137 (1983).

[14] D. Gil Pérez y J. Martínez Torregrosa, European Journal of Science Education **5**, 447 (1983).

[15] M.P. Varela Nieto y M.M. Martínez Aznar, Enseñanza de las Ciencias **15**, 155 (1997).

[16] J.H. Larkin, L. Mc Dermott, D.P. Simon y H.A. Simon, Science **208**, 1335 (1980).

[17] E. Coleoni, Z. Gangoso y V. Hamity, Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias **6**, 457 (2007).

[18] Z. Gangoso, Revista de Enseñanza de la Física **12**, 5 (1999).

[19] F.L. Alda y M.D. Hernández, Cuadernos de Pedagogía **265**, 28 (1998).

[20] D. Gil Pérez, y P. Valdés Castro Revista de Enseñanza de la Física **10**, 5 (1997).

[21] K. Heller y P. Heller, *Cooperative Group Problem Solving In Physics* (Ed. University of Minnessota, Minnessota, 1999).

[22] D. Ausubel, L. Novak y H. Hanesian, *Psicología Educativa. Un Punto De Vista Cognoscitivo* (Ed. Trillas, México, 1996).

[23] A.R. Camilloni, *Seminario Didáctica para la Educación Superior. Apuntes de Clase, Resolución del Rector N° 086/05* (Secretaría de Ciencia y Técnica, U.N.L. Pam., 2005).

[24] J.D. Novak y D.E. Gowin, *Aprendiendo a Aprender* (Ed. Martínez Roca, Barcelona, 1988).

[25] N. Solsona Pairo, M.Y Izquierdo y R. Gutierrez, Enseñanza de las Ciencias **18**, 15 (2000).

[26] Z. Gangoso, M.E. Truyol, A. Gattoni y I. Brincones Calvo, Latin American Journal of Physics Education **2**, 233 (2008).

[27] J. Piaget, *Epistemología Genética* (Solpin, Buenos Aires, 1977).

[28] J. Carrascosa y D. Gil, Enseñanza de las Ciencias **Extra Parte 2**, 167 (1987).

[29] A. Sardá y N. Sanmartí Puig, Enseñanza de las Ciencias **18**, 405 (2000).