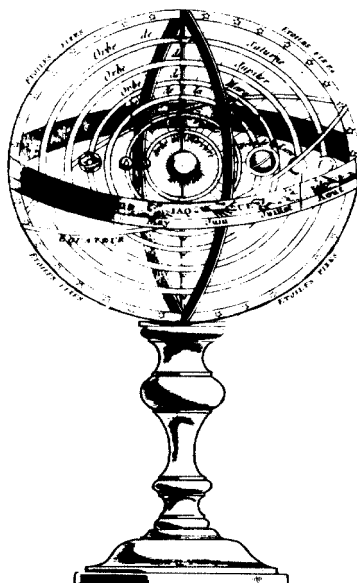


INNOVACIONES DIDÁCTICAS



DIFICULTADES Y ESTRATEGIAS PARA LA ENSEÑANZA DEL CONCEPTO DE *ENERGÍA*

Pacca, Jesuína Lopes de Almeida¹ y Henrique, Kátia Ferreira²

¹ Instituto de Física da Universidade de São Paulo, SP. Brasil.

² Colegio Friburgo. Brasil.

jesuína@if.usp.br

katiahenrique@uol.com.br

Resumen. En este trabajo buscamos comprender las dificultades de estudiantes y profesores al tratar problemas que involucran el concepto de *energía*, aportando sugerencias para la conducción, a nivel de enseñanza media, de tareas en el aula que puedan enfrentar los conflictos cognitivos y contribuyendo a la reestructuración de las concepciones de sentido común.

Palabras clave. Concepto de *energía*, energía en el sentido común, estrategias de enseñanza, conflicto cognitivo.

Summary. In this work we try to achieve a better understanding of the difficulties students and teachers are faced with when dealing with problems which involve the concept of *energy*. Our analysis suggests strategies to conduct activities which can help students to overcome their cognitive conflicts.

Keywords. Concept of energy, energy in the common sense, strategies for teaching, cognitive conflict in the classroom.

INTRODUCCIÓN

Uno de los resultados señalados por las diversas investigaciones en enseñanza de las ciencias habla respecto de las dificultades de los estudiantes en comprender el concepto de *energía* y en utilizar su principio de conservación en el análisis de fenómenos físicos (Grimelini-Tomasini et al., 1993; Driver et al., 1985; Duit, 1981). Las dificultades también han sido encontradas por los profesores en la planificación de estrategias adecuadas capaces de enfrentar las características más comunes del pensamiento de sentido común en el proceso de construcción del conocimiento científico en el aula.

Con ese trabajo creemos contribuir a la busca de soluciones de ambos problemas. Así, analizamos, a la luz de estudios sobre concepciones y modos de pensar del sentido común, la naturaleza de las dificultades que se pueden encontrar en la construcción del concepto de *energía*. El trabajo se centra en dos episodios que ocurrieron en un curso de perfeccionamiento de profesores, donde se procuraba elaborar una planificación pedagógica para enseñar ese contenido. Las estrategias utilizadas en el curso, explicadas en forma de cuestiones y problemas específicos, resaltan el contenido esencial y revelan las dificultades más comunes vinculadas a formas de concebir del sentido común, sugiriendo un nuevo enfoque para el tratamiento del concepto de *energía* en la enseñanza media.

La elaboración de estrategias a partir de resultados de investigaciones sobre concepciones de los estudiantes ha recibido, recientemente, más atención. Así, por ejemplo, Gircoreano (2001) elaboró una secuencia de actividades a partir de las barreras conceptuales constituidas por los modelos de sentido común en óptica. Las actividades propuestas, esencialmente experimentales, fueron planificadas de modo que proporcionasen a los estudiantes la oportunidad de reestructurar sus concepciones previas sobre la luz y la visión. Viennot (1997), por su parte, se refiere a estrategias de enseñanza que fundamentan la elección de actividades, también en óptica, a partir de modelos de sentido común. Una de las estrategias propuestas consiste en usar una idea de sentido común como un paso intermedio para la comprensión de la reflexión difusa de la luz. En el mismo trabajo, relata un episodio de enseñanza en el cual la estrategia propuesta tiene el objetivo de crear un conflicto cognitivo con relación a las concepciones de luz y de visión.

Los episodios que discutimos en este artículo revelan el potencial tanto de la utilización de analogías en la construcción del concepto de *energía potencial gravitatoria* como de estrategias que buscan provocar conflictos conceptuales en los alumnos en el proceso de análisis de fenómenos a través de la conservación de la energía.

EL CONCEPTO DE ENERGÍA: ENTRE LAS PERSPECTIVAS CIENTÍFICA Y DE SENTIDO COMÚN

A partir del análisis de los resultados de varios trabajos sobre las concepciones de *energía* de los estudiantes y

de sentido común de un modo general (Trumper et al., 1993; Hierrezuelo et al., 1990; Lijnse, 1990; Bliss y Ogborn 1985; Driver et al., 1985; Solomon, 1985), extrajimos tres ideas fundamentales asociadas a la energía:

– *Energía - causa/fuente*: energía como un agente causal, como algo que los cuerpos poseen que los capacita para realizar alguna acción, producir cambios, transformaciones en el ambiente. Así, el carbón, el sol, la electricidad tienen energía, pues, por sí mismos, provocan la acción de iluminar, calentar, mover, etc.

– *Energía - movimiento/acción*: la energía se hace concreta en la actividad explícita de un objeto en movimiento. Así, por ejemplo, los cuerpos que se mueven tienen energía.

– *Energía - sustancia*: la energía es algo que tiene existencia casi material y puede almacenarse dentro de los objetos. Así, por ejemplo, cuando se habla de que la comida y el carbón tienen energía almacenada, se sugiere muchas veces la idea de una sustancia activa. El propio lenguaje frecuentemente usado con relación a la energía –*gastar energía, producir energía, la energía desaparece*– sugiere la idea de algo concreto, con existencia real como un objeto. En todas esas ideas, la energía está incorporada/integrada, de algún modo, a un cuerpo y, en función de la situación, se puede privilegiar una de ellas.

Tales concepciones están relacionadas con *tendencias del pensar* (Santos, 1991) propias de la perspectiva espontánea de sentido común y están en la raíz de los mayores obstáculos al aprendizaje de la teoría física que trata de la transformación o conservación de la energía. Así, por ejemplo, al tratar ese concepto en el aula, se ha constatado que los estudiantes cometen sistemáticamente ciertos errores, relacionados con contenidos fundamentales del concepto en cuestión, tales como:

- a) interpretar los fenómenos en términos de propiedades absolutas o cualidades intrínsecas a un objeto en detrimento de posibles interacciones entre elementos de un sistema;
- b) buscar o atribuir causas a cualquier acción o movimiento observado en un fenómeno cualquiera;
- c) materializar o substancializar entidades abstractas, que son poco comprendidas.

Expresiones tales como *energía del cuerpo, fuerza del cuerpo, calor del cuerpo* tienen un significado equivalente en lo que se refiere a un poder especial de los cuerpos, esto es, revelan un modo de ver la realidad y de interpretar los fenómenos según una *perspectiva local*, focalizada en un único cuerpo, a partir de la observación de algunas de sus características, así como de las acciones y de los efectos sentidos por él.

Con todo, estudios históricos de Kuhn (1989), Elkana (1974) y otros muestran que el concepto de *energía* emergió en la física, a mediados del siglo XIX, cuando varias personas, en las diversas áreas del conocimiento, fueron capaces de percibir que, detrás de las diferentes

«conversiones» observadas, existía algo –una fuerza, un poder de la naturaleza– que, al transformarse, se conservaba. Es decir, el concepto de *energía* sólo adquirió significado cuando se focalizó en su conservación, hecho fundamental, en ese proceso, para la comprensión de la transformación que ocurre en los sistemas físicos.

Siendo así, desde un punto de vista clásico, el concepto físico de *energía* solamente tiene significado si es considerado en el contexto de transformación o conservación y, por lo tanto, asociado a una concepción más amplia del espacio en el cual tienen lugar las interacciones que se tienen en cuenta para un determinado *sistema* donde los procesos de transformación deben dar cuenta de la propia conceptualización de la energía.

En otras palabras, la descripción e interpretación de los fenómenos físicos a través de la transformación y conservación de energía involucran, principalmente, la observación de interacciones físicas, la delimitación de sistemas de cuerpos o sistemas físicos y la caracterización de los estados de esos sistemas; además de eso, esa interpretación debe considerar que las cantidades físicas que caracterizan tales estados pueden depender de referencias adoptadas arbitrariamente.

La distancia que se coloca, pues, entre esa perspectiva espontánea y la perspectiva científica, al analizar los fenómenos físicos es patente: *a) visión local*, propia del razonamiento de sentido común, que se opone a la idea de *sistemas de cuerpos y de interacciones físicas*; *b) la concepción de las magnitudes físicas como cualidades intrínsecas* a los cuerpos, que se opone a la idea de cantidades que dependen de *cuerpos en interacción* y de *referencias elegidas arbitrariamente*.

DIFICULTADES EN LA CONSTRUCCIÓN DEL CONCEPTO DE *ENERGÍA* Y ESTRATEGIAS DE ENSEÑANZA

En base al análisis que acabamos de hacer, estudiamos dos episodios que tuvieron lugar en un curso de perfeccionamiento de profesores. Las situaciones analizadas nos permitieron identificar algunas de las dificultades que pueden surgir en el aula, en virtud de las distancias entre el pensamiento de sentido común y el pensamiento científico. Al mismo tiempo, pudimos vislumbrar nuevos enfoques para el tratamiento de la energía en la enseñanza media así como posibles estrategias de enseñanza. Como mostraremos, pudimos localizar dificultades que pueden surgir en la construcción del concepto de *energía potencial gravitatoria* y en el análisis mismo de los fenómenos a través de la conservación o transformación.

El curso de perfeccionamiento de profesores

Los casos que estudiaremos se refieren a situaciones ocurridas en un curso de perfeccionamiento de profesores de física de enseñanza media, ofrecido en el Instituto de Física de la Universidad de Sao Paulo.

En ese curso participaron inicialmente 24 profesores, en reuniones semanales de cuatro horas durante dos años. El curso, constituido por cuatro módulos –los tres primeros enfocando las leyes de Newton y el cuarto, las leyes de conservación en mecánica–, se caracterizó, básicamente, por la búsqueda de comprensión de las dificultades de los estudiantes (y de los profesores) en relación con los contenidos involucrados en esas leyes y, también, por la búsqueda de una secuencia de actividades que, partiendo del conocimiento previo y de las dificultades de los sujetos, tuviesen el objetivo de llevar a los estudiantes a la reconstrucción gradual de sus concepciones.

En las reuniones, los profesores discutían problemas de física previamente seleccionados y, a partir de esos problemas y de la aplicación de otros análogos en sus clases, los participantes examinaban los puntos esenciales de los contenidos involucrados, las concepciones de los estudiantes relacionados con éstos y las dificultades fundamentales para el aprendizaje. Este análisis culminaba, al final de cada módulo, con la elaboración de un plan de clase individual y personal en el cual aquellas informaciones daban origen a la organización y selección de actividades específicas para tratar el contenido en las clases.

Naturalmente, ese proceso implicó la reestructuración de la concepción del profesor no sólo respecto a su actividad docente, sino también de los propios contenidos de física estudiados.

Los profesores participantes en el curso eran todos formados en profesorado de física, ocho entre ellos se estaban preparando para actuar como multiplicadores. Desde nuestro punto de vista, el hecho de que los profesores se mostrasen dispuestos a pensar la física y revisar sus propias concepciones contribuyó a que pudiesen emerger las dificultades en la construcción de los conceptos, creando un ambiente propicio para la profundización de nuestras investigaciones.

Los episodios que analizaremos ocurrieron en el cuarto módulo del curso, en las reuniones con los ocho participantes-multiplicadores. De hecho, fueron extraídos de la discusión de un problema que se mostró muy útil para evidenciar las dificultades en la comprensión y aplicación del concepto de *energía*. Relatamos las discusiones que ocurrieron entre los profesores al mismo tiempo en que llevábamos adelante nuestro análisis de las ideas allí manifestadas, presentando, en algunos momentos las propias expresiones de los profesores. Así, los ejemplos presentados constituyen la comprensión general de ese grupo; éstos se manifestaron durante las discusiones con la participación de todos.

Episodio 1: Un soporte para la energía potencial

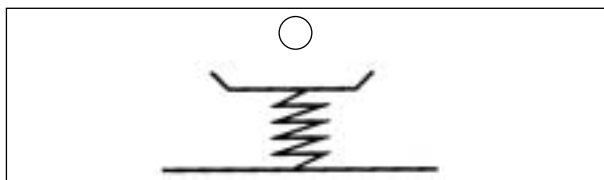
Se presentó a los profesores un problema bastante común cuando se enseña mecánica:

«Imagine el fenómeno físico en el que una pelota cae sobre una balanza de resortes (Fig. 1). Considerando

la energía involucrada en ese fenómeno, explica el comportamiento de la pelota y del resorte a lo largo del proceso.»

Figura 1

Describe el fenómeno considerando la energía involucrada.



En el intento de explicar el movimiento de la pelota y su choque con la balanza, los profesores utilizaron el concepto de *energía* a través de la expresión:

«La pelota, en la situación inicial, tiene energía potencial gravitatoria almacenada, por encontrarse a cierta altura sobre el nivel de la superficie de la Tierra.»

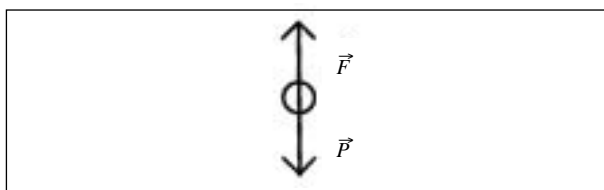
Esa afirmación no despierta ninguna sospecha en cuanto a las concepciones de sentido común, y además se encuentra con frecuencia en los libros de texto. Puede tratarse simplemente de una forma de expresión. Sin embargo, las discusiones que siguieron mostraron que detrás de ella estaba presente la concepción de energía como propiedad intrínseca de la pelota, independientemente de su contexto físico, y asociada a la necesidad de materializar entidades abstractas y localizarlas en los objetos.

Con el objetivo de llevar a los profesores a percibir que la energía gravitatoria está asociada a la interacción gravitatoria, se puso a los profesores frente a un conflicto con otra cuestión cuyo análisis involucraba la aplicación del teorema de la energía cinética:

«Si consideramos que la pelota se levanta hasta la altura inicial con velocidad constante, es decir, que la fuerza hacia arriba tiene la misma intensidad que la fuerza gravitacional (Fig. 2), la energía cinética de la pelota es constante. ¿Cuánto vale, entonces, el trabajo resultante sobre la pelota, en ese proceso?»

Figura 2

Si el trabajo resultante es nulo, ¿cómo puede la pelota ganar energía?



La respuesta obtenida inmediatamente fue que el trabajo era nulo.

Los profesores asociaban, aunque utilizando un formalismo matemático, trabajo realizado sobre un cuerpo con variación de energía del mismo y, al mismo tiempo, entendían que un cuerpo que sube respecto de la superficie de la Tierra gana necesariamente energía potencial gravitatoria, por estar ganando altura. Así, cayeron en una paradoja: *la energía potencial se calcula por la expresión mgh —lo que sugiere que es la pelota de masa m , que se encuentra a la altura h , que posee esa cantidad de energía— pero, al mismo tiempo, el trabajo resultante de las fuerzas que actúan es nulo porque la velocidad no varía. ¿Cuál sería el error en esas ideas?*

En la fórmula mgh , todas las variables parecen ser propiedades de la pelota y, en la fórmula del trabajo resultante, las fuerzas no son asociadas a las respectivas interacciones.

En ese momento, todos los profesores participantes del curso reconocieron el conflicto, el cual revelaba dificultades en relación con la conservación de la energía en un proceso de transformación. Delante de esta situación conflictiva, se encaminó la discusión del problema con la ayuda de una analogía.

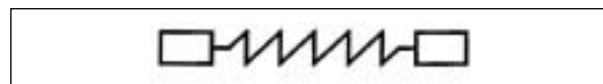
Ubicando el conflicto cognitivo

Parece que la dificultad más importante radica en la ausencia de un soporte material para la energía; más exactamente en la concepción de fuerza gravitatoria y de campo gravitatorio. Con esta hipótesis se encaró el problema con la discusión de otra situación física en la cual se concretizó la interacción presente en el fenómeno en un resorte.

Los profesores fueron llevados a considerar el caso de dos bloques unidos por un resorte y separados de tal manera que éste se deforma (Fig. 3).

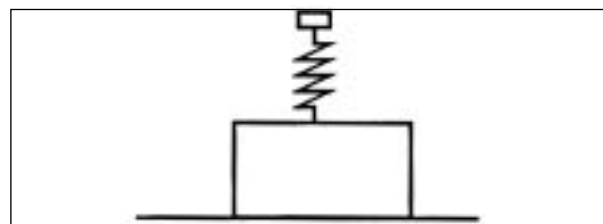
Figura 3

¿Dónde se encuentra la energía potencial?



Explorando aún más la analogía con el fenómeno del cuerpo que se aleja de la Tierra, se sugirió, después de alguna discusión, que se considerase primero uno de los dos bloques con una masa mucho mayor que el otro, y después, el conjunto en disposición vertical, con el bloque de masa mayor apoyado (Fig. 4).

Figura 4



El término *energía potencial elástica* fue rápidamente sugerido por los profesores –todavía sin demasiadas referencias a su significado físico en el conjunto.

En este punto, se hizo la pregunta: después que el resorte se deforma, ¿dónde se encuentra la energía potencial elástica? Los profesores respondieron que estaría almacenada en el resorte y no en uno de los bloques (o en los dos), como podría esperarse si se hiciese una relación con la pelota de la figura 2.

La discusión de esa cuestión podría llevar a pensar que el resorte estaría, en cierto modo, sirviendo de soporte para la energía, concretizando la interacción y haciendo el mismo papel del campo gravitatorio, porque sin resorte no hay fuerza elástica, así como, sin interacción o sin campo, no hay fuerza gravitatoria. Así, a partir de esa discusión, aunque con una simplificación muchas veces indebida, quedó clara la analogía y la relación entre las diferentes situaciones. Se llegó a la idea de energía asociada al campo, en virtud de la interacción de éste con la pelota o, más aún, a la idea de la energía asociada al sistema Tierra-pelota debido a la interacción gravitacional entre los dos cuerpos, *lo que tampoco había sido explicitado anteriormente*.

La analogía se mostró fundamental para la comprensión de las dificultades involucradas en la resolución del problema en cuestión, al traernos la duda: ¿Por qué, para el sentido común, en el primer caso, la energía debería *estar almacenada en la pelota*, mientras que, en la segunda situación, *estaría en el resorte*?

La analogía como estrategia: la búsqueda de atributos correspondientes

Atribuir energía al resorte es un razonamiento más espontáneo que atribuirla al campo gravitatorio; al fin y al cabo, el resorte tiene existencia material –aunque su masa haya sido despreciada. El concepto físico de *campo* y *fuerza gravitatoria* (a distancia, sin contacto) ya es complejo y abstracto para el sentido común: el campo es una entidad abstracta en el sentido de que no es directamente accesible a los sentidos. De hecho, es apenas un modelo a través del cual se interpreta la interacción gravitatoria (en el caso del problema analizado). Así, la energía está siendo atribuida a los cuerpos con masa, como si fuese una *propiedad intrínseca al cuerpo* –muy lejos, por lo tanto, de una cantidad física que depende de *interacciones físicas* y *referenciales arbitrariamente* elegidas.

Esa tendencia a la materialización de las cantidades y entidades físicas es reforzada por la propia forma a través de la cual el contenido es tradicionalmente abordado en la escuela. Así, por ejemplo, la fuerza de interacción gravitatoria es tratada como mg , lo que sugiere que el *peso es una propiedad del cuerpo de masa m* , ya que g se considera apenas como aceleración (de la gravedad) –un valor que se supone que es constante y aproximadamente igual a 10 m/s^2 , sugiriendo fuertemente algún

movimiento natural del cuerpo. Lo mismo ocurre con la energía potencial gravitatoria que, definida y calculada como Ph o mgh , que conduce a la idea de que se trata de una propiedad del cuerpo de masa m que se encuentra a una altura h . Estos dos conceptos –*peso* y *energía potencial*– aparecen casi siempre asociados a situaciones estáticas, sin apuntar a algo en potencial, por ejemplo, el movimiento.

Por otro lado, en el caso del resorte, el cálculo de la energía del sistema no depende de una característica del cuerpo de masa m ; por lo tanto, no se la ve *en* el bloque de menor masa (o en los dos), toda vez que la expresión utilizada para la determinación de la energía elástica $kx^2/2$ no involucra masas, sólo la constante elástica que es propia *del resorte*. También por esa razón, y no sólo por la naturaleza material y elástica del resorte, es natural que se conciba la energía potencial como asociada al resorte, no trayendo, por lo tanto, las dificultades identificadas en la comprensión de la energía asociada al campo o al sistema.

La analogía establecida entre el resorte y el campo gravitatorio posibilitó transferir el foco de la discusión para las interacciones involucradas en los procesos de transformación de energía: sólo podemos hablar de energía potencial elástica cuando hay una interacción que resulta en la deformación del resorte. De manera similar, sólo podemos hablar de energía potencial gravitatoria cuando hay interacción entre dos cuerpos o entre un cuerpo y un campo gravitatorio. En otras palabras, la analogía posibilitó una «concretización» de la interacción entre la pelota y la Tierra.

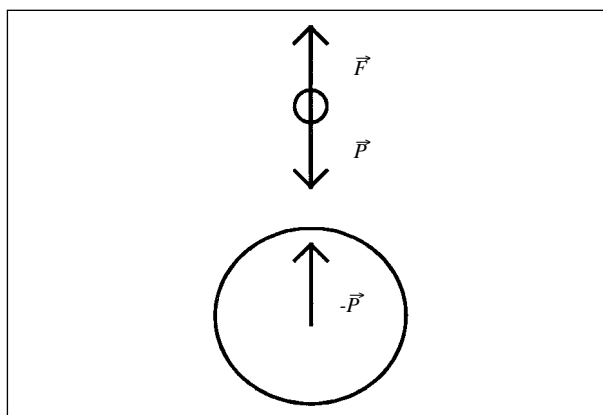
Episodio 2: El papel de las interacciones en la descripción de los procesos de transformación de la energía

Otro episodio interesante explicita la importancia de las interacciones en los procesos de transformación en la comprensión del concepto de *energía*, así como también posibilita la identificación de dificultades a las que puede conducir la perspectiva local del pensamiento de sentido común en la comprensión de esos procesos.

La situación física presentada se refiere a la pelota que se aleja levantándose hasta cierta altura con velocidad constante. Durante el análisis del problema, un profesor sugirió la representación que está en la figura afirmando que la energía potencial gravitatoria que aparece asociada al sistema se debía a los pares de fuerzas \vec{P} y \vec{F} (como se presentan en la figura 5), o sea, a las fuerzas $-\vec{P}$ y $-\vec{F}$ (podemos notar que la fuerza $-\vec{F}$ no está representada en la figura):

«Como el efecto de la fuerza peso es anulado por la fuerza, la energía que aparece en el sistema se debe a las otras fuerzas pares de las interacciones, es decir, a las fuerzas $-\vec{P}$ y $-\vec{F}$.»

Figura 5



El contenido esencial y el conflicto cognitivo

En el pensamiento manifestado por el profesor, los trabajos de las fuerzas \vec{F} y \vec{P} parecen no tener ningún papel en lo que respecta a las transformaciones de energía y a la energía potencial que aparecía en el sistema: aun reconociendo los pares de fuerzas involucrados en el problema, una interacción *como un todo* no se asocia a la posibilidad de transformación de energía; así, cada fuerza de una interacción tendría un efecto diferente en lo que respecta a la transformación de energía. Además de eso, este varía de situación en situación aunque la naturaleza de la interacción sea la misma. Nuevamente constatamos la visión local orientando el análisis de los fenómenos físicos.

El propio hecho de entender que los efectos de las fuerzas \vec{F} y \vec{P} de la figura 5 se anulaban, en lo que respecta a las transformaciones de energía, apunta en el mismo sentido de esa interpretación: el tipo de transformación de la energía –que depende de la naturaleza de la interacción– no estaba siendo considerado, aun cuando se estuviese concibiendo el trabajo de una fuerza como medida de la cantidad de energía que había sido transformada o transferida. Así, faltó la comprensión de que las cantidades transformadas debido a las interacciones representadas por \vec{F} y $-\vec{F}$ y por \vec{P} y $-\vec{P}$ son iguales, pero las transformaciones involucradas en cada interacción son diferentes y específicas de cada una de ellas.

Esa visión local presente en el análisis de los fenómenos también se manifestó en la siguiente expresión de otro profesor:

«[...] sabemos que existe la fuerza $-\vec{P}$ actuando en la Tierra. Aunque esa fuerza no tenga un efecto muy explícito en virtud de que la masa de la Tierra es muy grande, hay un pequeño desplazamiento, aunque infinitesimal, de la Tierra en dirección a la pelota –es decir, ésta gana velocidad subiendo un poquito. ¿No sería, entonces, la fuerza $-\vec{P}$ la responsable de la energía potencial que aparece?»

Por lo tanto, por no asociar interacciones a las transformaciones de energía, se perjudicó la interpretación de los procesos de transformación de energía y la comprensión del propio

concepto. Ese modo de pensar revela también la ausencia de referenciales para localizar los cuerpos involucrados.

Ahora, al imaginarnos la pelota subiendo y perdiendo velocidad, analizamos el comportamiento de la pelota –desplazamiento, velocidad, etc.– con relación a la Tierra. Si se describe el comportamiento de la velocidad respecto de la Tierra, lo mismo vale para la energía cinética. Así, no tiene sentido, en el análisis de la transformación de energía, considerar la Tierra subiendo un poco, lo que interesa es el alejamiento o acercamiento Tierra-pelota, que ya se considera cuando se analiza el comportamiento de la pelota con respecto de la Tierra. Luego, si el referencial es la Tierra, sólo la pelota tendrá energía cinética y, por lo tanto, sólo esa energía se estaría transformando en energía potencial, en virtud de la interacción gravitacional (está claro que no queremos presentar aquí la cuestión de las posibles alteraciones del campo cuando se considera el movimiento de la Tierra).

Al hacer su análisis, el profesor consideró cada cuerpo (Tierra y pelota) por separado, concibiendo sus velocidades y energías cinéticas de forma absoluta, como propiedades intrínsecas de esos cuerpos y referidas a un referencial absoluto –lo cual trajo dificultades en la interpretación de los procesos de transformación de energía.

CONSECUENCIAS PARA EL TRABAJO EN EL AULA

Analizando las diferentes situaciones de aprendizaje y la confrontación entre modos diferentes de pensar aquí expuestos, podemos encontrar, en la propia enseñanza escolar, alguna fuente de las dificultades. En cuanto al primer episodio, si el concepto de peso fuese tratado como una fuerza de interacción gravitatoria no sólo en el estudio de la gravitación universal, sino también de la física en general, se propiciaría la visión de sistema. La fuerza gravitatoria abordada como GMm/d^2 tal vez atenuaría la idea de peso como propiedad intrínseca de un cuerpo y favorecería la idea de una cantidad que depende de las masas de los cuerpos de un sistema y representa la intensidad de la interacción entre ellos. Desde esta perspectiva, la definición de *energía potencial gravitatoria* Ph o mgh se haría con otros ojos, partiendo del peso como GMm/d^2 o de la «aceleración de la gravedad» (o inclusive intensidad del campo gravitatorio) como GM/d^2 . Así, la idea de interacción, tan fundamental en los procesos de transformación de la energía y, por lo tanto, para la construcción epistemológicamente significativa de ese concepto, sería enfatizada, constituyendo el foco conceptual en el desarrollo de la mecánica en la enseñanza media y fundamental.

En cuanto al segundo y último episodio, sabemos que las energías cinética y potencial dependen de *sistemas de referencia*. Ese aspecto, poco explorado en la enseñanza de la física en el nivel medio, se muestra importante y esencial en la conceptualización científica y, si se enfatiza, podrá constituirse en el desafío al pensamiento local, material y causal, propio del sentido común –pensamiento

to ése que, siendo opuesto a las perspectivas científicas, acarrea dificultades en el aprendizaje significativo y adecuado, en especial, del concepto de *energía*. Como afirma Feynman (1989, p. 89), al referirse a los principios de conservación de la física: «La conservación de la energía es un poco más difícil, porque [...] tenemos un número que no varía con el tiempo y *no se refiere a ningún objeto en particular*» (la cursiva es nuestra).

Estos puntos son ejemplos de conflictos entre las ideas científicas y las de sentido común. Éstos, al no ser conocidos y no recibir, en la escuela, un tratamiento adecuado, terminan siendo más una realimentación de concepciones no científicas que una oportunidad para la explicitación y la construcción del conocimiento deseable.

CONSIDERACIONES FINALES: POSIBILIDADES DE INVESTIGACIONES FUTURAS

Este trabajo es una reflexión fundamentada a partir de los resultados de la investigación sobre las concepciones de los estudiantes y los obtenidos en el curso de perfeccionamiento de profesores. Somos conscientes, por supuesto, de la distancia que existe entre la ciencia del profesor y la del alumno. Con todo, creemos que el trabajo con los profesores permite, en virtud de su compromiso y de su capacidad de reflexionar con mayor profundidad sobre

los fenómenos físicos, localizar posibles dificultades de aprendizaje ocasionadas por las diferencias, exploradas en este artículo, entre el pensamiento científico y el pensamiento de sentido común.

Según lo vemos nosotros, la secuencia de actividades propuestas para discusión en el curso de los profesores revelaron el potencial de las estrategias utilizadas en la construcción del concepto de *energía*, con foco en la conservación que ocurre en los procesos de transformación. De hecho, la secuencia caracterizada por la emergencia de un conflicto conceptual, posibilitada por el cuestionamiento del trabajo resultante sobre la pelota, seguida de la analogía establecida entre dos cuerpos que se atraen gravitacionalmente y aquéllos cuya interacción se da por medio de un resorte, se mostró muy útil para el proceso de construcción del concepto de *energía potencial gravitatoria* y de su relación con los conceptos físicos de *fuerza* y *campo*. Está claro que el éxito de la estrategia se dio en un contexto diferente del de la clase; no obstante, las discusiones posibilitadas por las actividades propuestas pueden contribuir a la comprensión de la energía asociada al campo y no como una propiedad del cuerpo. Un próximo paso sería realizar una investigación didáctica capaz de evaluar avances en la capacidad de los estudiantes para analizar procesos de transformación de energía a partir de las interacciones involucradas en los sistemas físicos y no como propiedades intrínsecas de los cuerpos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BLISS, J. y OGBORN, J. (1985). Children's choices of uses of energy. *European Journal of Science Education*, 7 (2), pp. 195-203.
- DRIVER, R. y WARRINGTON, L. (1985). Students' use of the principle of energy conservation in problem situation. *Physics Education*, 20, pp. 171-176.
- DUIT, R. (1981). Understanding Energy as a Conserved Quantity - Remarks on the Article by R. U. Sexl. *European Journal of Science Education*, 3 (3), pp. 291-301.
- ELKANA, Y. (1974). *The Discovery of the Conservation of Energy*. Londres: Hutchinson Educational Ltd.
- FEYNMAN, R. P. (1989). *O que é uma lei física?* Trad. de Fiolhais, C. Lisboa: Gradiva.
- GIRCOREANO, J. P. y PACCA, J. L. A. (2001). O Ensino de Óptica na Perspectiva de Compreender a Luz e a Visão. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, 18 (1), pp. 26-40.
- GRIMELLINI-TOMASINI, N., PACCA, J. L. A., PECORIBALANDI, B. y VILLANI, A. (1993). Understanding Conservation Laws In Mechanics: Students' Conceptual Change in Learning about Collisions. *Science Education*, 77 (2), pp.169-189.
- HIERREZUELO MORENO, J. y MOLINA GONZÁLEZ, E. (1990). Una propuesta para la introducción del concepto de *energía* en el bachillerato. *Enseñanza de las Ciencias*, 8 (1), pp. 23-30.
- KUHN, T. S. (1959). A Conservação da energia como exemplo de descoberta simultânea, en Kuhn, T. S. (ed.). *A Tensão Essencial*, pp. 101-141. Trad. de Pacheco, R. Lisboa: Edições 70.
- LIJNSE, P. (1990). Energy between the Life-World of Pupils and the World of Physics. *Science Education*, 74 (5), pp. 571-583.
- SOLOMON, J. (1985). Teaching the conservation of energy. *Physics Education*, 20, pp. 165-170.
- TRUMPER, R. y GORSKY, P. (1993). Learning about Energy: The Influence of Alternative Frameworks, Cognitive Levels and Closed-Mindedness. *Journal of Research in Science Teaching*, 30 (7), pp. 637-648.
- VIENNOT, L. y KAMINSKI, W. (1991). Participation des maîtres aux modes de raisonnement de élèves. *Enseñanza de las Ciencias*, 9 (1), pp. 3-9.
- VIENNOT, L. y CHAUVET, F. (1997). Two dimensions to characterize research-based teaching strategies: Examples in elementary optics. *International Journal of Science Education*, 19 (10), pp. 1159-1168.
- WATTS, P. M. (1983). Some alternative views of energy. *Physics Education*, 18, pp. 213-216.

[Artículo recibido en mayo de 2002 y aceptado en junio de 2003]