

**“SABEMOS QUE GRACIAS A ELLA OCURRE CASI TODO EN EL UNIVERSO...”:
IDEAS DE ALUMNOS Y PROPUESTAS DE ENSEÑANZA SOBRE LA ENERGÍA**

Silvina Cordero

Ana G. Dumrauf

Ofelia R. Ocampo

Grupo de Didáctica de las Ciencias. Instituto de Física de Líquidos y Sistemas Biológicos
(UNLP-CONICET-CIC).

Casilla de Correo 565 Calle 59 N° 789, (1900) La Plata, Pcia. de Bs. As., Argentina.

TE (0054221) 423-3283, e-mail: cordero@iflysib.unlp.edu.ar

Resumen

Este trabajo presenta un estudio comparativo acerca de dos propuestas innovadoras de enseñanza del tema energía en el 7° año de la Educación General Básica y en el nivel universitario. Se analizan las secuencias didácticas utilizadas, encontrando interesantes coincidencias con investigaciones actualizadas sobre la temática. Los resultados obtenidos por los alumnos en la resolución de cuestionarios conceptuales similares, previa y posteriormente al abordaje de la temática, y algunas informaciones recabadas en entrevistas, evidenciaron la apropiación de un nuevo lenguaje más próximo al científico, aún cuando no se produjeron cambios notables respecto a la noción de energía.

Palabras-clave: Innovación; Energía; Secuencias de Enseñanza; Resultados de Aprendizaje.

Introducción

El término *energía* forma parte del lenguaje cotidiano y también del científico. La inserción en nuestra cultura mediática y nuestro uso diario del lenguaje nos han permitido construir descripciones y explicaciones acerca de la naturaleza de los objetos o seres “que poseen energía”, de la “crisis energética” y de los “efectos de la energía nuclear” sobre los organismos vivos, mucho antes o paralelamente al estudio del tema en la educación formal. Ello hace que existan diversas dificultades para el logro del aprendizaje significativo del conocimiento consensuado científicamente sobre esta temática (Pozo y Gómez Crespo, 1998). Desde el punto de vista científico, el concepto de energía es estructurante para la Física. La aparición del concepto moderno de energía fue paralela a la declinación de la teoría del calórico ocurrida durante el siglo XIX (Cotignola *et al*, 2000). Sin embargo “*gran cantidad de artículos científicos y libros de texto de diferentes niveles de la enseñanza aún están orientados con términos y concepciones provenientes de la teoría del calórico*” (Michinel Machado y D’Alessandro Martínez, 1994: 369). Por otro lado, no existen acuerdos entre los investigadores acerca de cuál constituye el mejor abordaje del tema para cada nivel de enseñanza (Pérez-Landazábal *et al*, 1995).

Dificultades de los alumnos para aprenderlo, desactualización y errores en los textos y desacuerdos entre investigadores sobre su forma de abordaje, hacen que la enseñanza del concepto de energía constituya un desafío para los docentes de los distintos niveles educativos. Además es uno de los temas que mejor podemos clasificar como transversal dentro del currículo de la Educación General Básica, Polimodal y Universitaria.

Tales consideraciones nos llevaron a juzgar relevante el análisis de dos propuestas de enseñanza del tema energía, en ámbitos educativos diferenciados: el Taller de Enseñanza de Física (TEF) para alumnos de las Licenciaturas en Ciencias Naturales (Facultad de Ciencias

Exactas, UNLP, Argentina), y la propuesta implementada por un docente en la asignatura Ciencias Experimentales para 7° año de Educación General Básica (Colegio Nacional “Rafael Hernández”, UNLP). Para ello llevamos a cabo un estudio de caso, de tipo exploratorio y descriptivo, que incluyó, entre otras modalidades de recolección de información, la videograbación de clases durante las unidades pedagógicas sobre energía, la realización de encuestas conceptuales a los alumnos, previa y posteriormente al abordaje de la temática y de entrevistas semi-estructuradas con alumnos en ambos contextos, al finalizar la presentación del tema. En este trabajo presentamos un primer análisis de las secuencias didácticas utilizadas en ambas propuestas pedagógicas y una síntesis de algunos de los resultados obtenidos en el análisis de los conocimientos previos y finales de los alumnos. Nuestro propósito fue “entrar en la caja negra” del aula, para documentar de modo riguroso y sistemático procesos que, en general, son meramente supuestos por las macro-teorías (Hutchinson, 1988).

Contextos de la investigación

El TEF constituye una experiencia singular de enseñanza de Física en el contexto de la universidad argentina. Fueron realizados varios trabajos a fin de describir y sistematizar la innovación (p. e. Petrucci y Cordero, 1994; Cordero, Petrucci y Dumrauf, 1996; Dumrauf, Cordero y Colinviaux, 2000), pero aún quedan muchos interrogantes sobre los procesos que allí ocurren. Consiste en una modalidad de cursada alternativa de la materia anual Física General, especialmente desarrollada para los alumnos de las Licenciaturas en Biología y Geología por un equipo interdisciplinario de docentes (físicos, biólogos, geólogos y estudiantes avanzados de las diferentes carreras). Las dos clases obligatorias semanales tienen una duración de tres horas cada una y la modalidad es teórico-práctica. La materia se acredita con la aprobación de tres evaluaciones parciales (que actualmente consisten en un coloquio en díadas, a partir de la resolución domiciliaria de problemas) y un examen final oral. La matrícula que inició la cursada en el año 2002 fue de aproximadamente 180 alumnos, y la finalizaron alrededor de 120, organizados en tres comisiones¹ atendidas cada una por cuatro o cinco docentes. La concepción de taller subyacente a esta propuesta no se restringe a la puesta en práctica de algunas técnicas grupales y de participación de los alumnos. Implica modificaciones sobre todo el curso, que van desde la reformulación de los roles de docentes y alumnos, hasta la implementación de diferentes modalidades y tipos de evaluación, en función de una perspectiva procesual de la misma. La experiencia se propone promover no sólo la apropiación de conocimientos físicos, sino también la formación de actitudes, tales como la autonomía, el pensamiento crítico, la solidaridad, la responsabilidad, entre otras. Los docentes del TEF consideran necesario, por lo tanto, crear un clima de clase favorable para propiciar cambios en el estudiante, tendiendo a que alcance su autonomía y realización personal (Cordero, Petrucci y Dumrauf, 1996).

La propuesta implementada por el docente seleccionado en la asignatura *Ciencias Experimentales* del Colegio Nacional posee también características singulares. Por un lado el docente se plantea la materia como una introducción a contenidos de las ciencias experimentales con un grado de transposición más próximo al conocimiento científico que el ofrecido en años anteriores de la EGB, y que funcionaría como articulación para el abordaje disciplinar en años siguientes. Por otro lado, constituye una oferta institucional de creación reciente, surgida como experiencia piloto algunos años antes de la reforma de la estructura educativa nacional de mediados de los años '90, pero con rasgos muy similares a los planteados en la Ley Federal de Educación. Finalmente, son escasos los análisis de la propuesta realizados

¹ Grupos de alumnos que, en general, trabajan en espacios diferentes, bajo la supervisión de equipos docentes también diferenciados.

hasta el momento (Espíndola y Dumrauf, 1998, 2002). La materia se desarrolla en tres clases semanales de una hora veinte de duración cada una. En el año 2002 integraron la división 30 alumnos, atendidos por un único docente.

Los docentes de ambos contextos poseen un perfil innovador, con una marcada preocupación por las cuestiones epistemológicas, disciplinares y didácticas vinculadas a sus propuestas de enseñanza. Ello los ha llevado a reflexionar profundamente – en el caso del TEF, en forma colectiva- a fin de elaborar secuencias didácticas originales para el abordaje de los diversos contenidos que abarcan sus asignaturas. En el próximo apartado presentamos sucintamente las secuencias didácticas referidas a energía que pusieron en práctica en el año 2002.

Secuencias didácticas de presentación del tema energía

La investigación respecto a las concepciones de los alumnos sobre el tema energía, y las dificultades que ellas implican para el abordaje de la noción científica, ha dado profusos resultados durante toda la década de los '80. Solbes y Tarín (1998) sintetizan de la siguiente forma los hallazgos más frecuentes: *“la confusión entre trabajo y esfuerzo (...), considerar sólo uno de los factores que intervienen en el trabajo olvidando el otro, identificar trabajo y energía (...), asignar un cierto carácter material a la energía (...), asociarla al movimiento, la actividad (...) o a los procesos (...), considerar que la energía puede gastarse (...) o almacenarse (...) dado que el lenguaje cotidiano está impregnado de expresiones como ‘consumo de energía’, ‘crisis energética’, etc, confundir las formas de energía con sus fuentes (...), atribuir la energía potencial al cuerpo y no a la interacción entre los cuerpos (...) ignorar la variación de la energía interna (...), asignar un carácter sustancial al calor (...) o considerarlo como una forma de energía (...), confundir la cantidad de calor y la temperatura (...). Y, muy en especial, no activar los esquemas de transformación, conservación, transferencia y degradación de la energía...”*

En el TEF el concepto de energía fue abordado en dos unidades pedagógicas: la correspondiente a “Dinámica”, en la que se introdujo el concepto de energía mecánica (potencial y cinética) y la correspondiente a “Termodinámica”, en la que se estudió la energía interna. Por lo observado en nuestro trabajo de campo, el concepto se presentó en ambas unidades enfatizando su carácter de *“ente abstracto”*, como *“una función o una variable que caracteriza el estado [dinámico o termodinámico, según sea el caso] de un sistema”*. Esta aproximación pretendió desplazar las visiones intuitivas de la energía como algo material, o un flujo que transita por los distintos sistemas, e inclusive la asociación, muy frecuente en los libros de texto, de la energía como “la capacidad de realizar trabajo”. Sin embargo, la presentación inicial del concepto se realizó asociada al trabajo mecánico, y su primera mención en clase fue al exponer teóricamente y demostrar matemáticamente el Teorema del Trabajo y la Energía, al finalizar la unidad de Dinámica. En la unidad de Termodinámica el concepto de energía interna también se introdujo expositivamente con la relación energía, trabajo y calor planteada por el Primer Principio de la Termodinámica. Se pretendió establecer un nexo entre la energía mecánica y la interna considerando que la variación total de la energía de un sistema dependería de los procesos de trabajo mecánico, trabajo termodinámico y calor.

El abordaje utilizado en el TEF exigió formalismos matemáticos que implicaron no sólo la consideración de múltiples variables, sino también relaciones de proporcionalidad, derivadas e integrales. Ello significó: para los alumnos de Ciencias Naturales, dificultades que trascendían este contenido específico, ya que la base usual de conocimientos matemáticos era

bastante limitada; y para los docentes del TEF, la necesidad de explicar simultáneamente los procedimientos matemáticos utilizados.

Las actividades propuestas en ambas unidades pedagógicas fueron:

- 1) discusión en pequeños grupos y luego en plenario de las ideas previas de los alumnos sobre trabajo, a partir del planteamiento de un problema;
- 2) realización de algunas experiencias sencillas en grupos, al iniciarse la unidad de Termodinámica, destinadas a discutir las ideas previas de los alumnos (el corte de un alambre, la utilización de un inflador, la percepción de la temperatura del agua con los dedos luego de introducirlos en dos recipientes con agua a distintas temperaturas y el estiramiento de una banda elástica). La discusión de las experiencias debía abordar: las variables relevantes al describir los estados de los sistemas; la delimitación de los sistemas, sus fronteras y el entorno; y el modelo más adecuado para describir sus estados;
- 3) exposiciones teóricas por parte de los docentes, a modo de “teóricos dialogados” (Dumrauf *et al*, 2000), en las que se abordaron las nociones de: impulso, trabajo, fuerzas conservativas y no conservativas, gradiente, energía potencial, teorema del trabajo y la energía, energía cinética y energía mecánica; variables termodinámicas, estados de equilibrio, primer principio de la termodinámica, tipos de ligaduras, entropía, procesos reversibles e irreversibles, potencial químico y calor específico, energía libre de Helmholtz, entalpía, energía libre de Gibbs, compresibilidad isotérmica, calor latente, sistemas fuera del equilibrio, y nociones de termodinámica del no equilibrio aplicada a sistemas naturales (el ciclo del agua);
- 4) resolución de problemas en pequeños grupos de alumnos en base a dos Guías de Problemas (una referida a Impulso, trabajo y energía, y otra referida a Termodinámica);
- 5) discusiones en plenario, con coordinación docente, para la puesta en común de la resolución de problemas, a partir de la presentación de su resolución en el pizarrón por parte de un grupo de alumnos;
- 6) realización de una experiencia de medición de la temperatura hasta el cambio de estado de una sustancia, a fin de elaborar gráficas y aplicar la noción de calor específico y primer principio de la termodinámica.

El abordaje utilizado en el TEF coincidió en la relevancia dada por Arons (1999: pp. 1066) a: “1) la definición cuidadosa del concepto de ‘sistema’; 2) la definición del ‘estado de un sistema’ y el reconocimiento del ‘cambio de estado de un sistema’; y 3) la asociación del cambio de estado con el cambio en ‘la energía interna del sistema’”. El planteo de ese autor también señala la necesidad de articular el teorema del trabajo y la energía con el primer principio de la Termodinámica, tal como fue presentado en las clases del TEF.

Por otro lado, hemos analizado en un trabajo anterior el tipo de aproximación a la Termodinámica planteada en el TEF, caracterizándola como axiomática, por provenir los principios tradicionales de postulados abstractos (Dumrauf, 2001). Tarsitani y Vicentini (1996) consideran que la enseñanza de la Termodinámica basada en este tipo de aproximación puede disminuir la brecha entre “lo que se enseña” en cursos universitarios de Física General, y el desarrollo de la investigación científica actual, especialmente la relacionada al caos y la complejidad. Los docentes siguieron, en parte, la formulación presentada por Callen (1983) para incluir los conceptos de la Termodinámica fuera del equilibrio, con la intención de tratar contenidos cercanos a las necesidades de los estudiantes como futuros investigadores científicos en las áreas de Biología o Geología.

Pasando ahora al planteo seleccionado por el docente de Ciencias Experimentales, vimos que difirió sustancialmente del anterior. Esto en parte se relaciona con los objetivos y limitaciones que él mismo expresó, al referirse por escrito al “Estado de situación al comienzo del tema Energía en 7° de EGB”: “a) No tratado en años anteriores. Pueden existir

referencias del ámbito cotidiano, aunque totalmente asistemáticas. b) Existencia de dificultades epistemológicas para iniciar el tratamiento de ideas acerca de la energía. c) El nivel de maduración en desarrollo o de formación en los alumnos pueden no dar posibilidades alternativas frente al nivel de abstracción necesario para el tema. d) Se pretende un acercamiento al tema de manera que sirva de base al desarrollo en el ámbito de todas las Ciencias Naturales, considerando la distinta visión o manera de uso del concepto en Biología respecto de Física o Química”.

Estas consideraciones implicaron que el docente no plantease una definición del concepto de energía, sino que optase por presentar sus características o propiedades (unicidad, convertibilidad, transferibilidad y conservación); estudiar la clasificación de las energías según su fuente de producción para el consumo humano (lo que encuadró en el análisis de la transferencia de energía); y reclasificar nuevamente esas energías según si se trataba de producción o utilización de energía mecánica -que vinculó con el movimiento- o de energía interna -que relacionó con reacciones químicas (enmarcando este análisis en la propiedad de convertibilidad). Con relación a este último aspecto, introdujo algunas referencias a la teoría atómico-molecular, no tratada hasta ese momento en el curso. Finalizó su esquema conceptual analizando los intercambios de energía en la biosfera. Según él mismo expresó, su intención fue “reorganizar lo que los chicos ya saben”, a fin de que esa base les sirviera a los alumnos para abordar más formalmente el concepto en años siguientes. Las actividades propuestas fueron:

- 1) análisis de una experiencia sencilla (el corte de un alambre con una pinza), a fin de explicitar y contrastar las ideas previas de los alumnos;
- 2) elaboración en el pizarrón de un listado de todos los términos asociados por los alumnos con “energía”, selección y organización de los mismos por parte del docente;
- 3) presentación teórica de las propiedades de la energía;
- 4) investigación en díadas de alumnos sobre las distintas fuentes de producción de energía (y en ese sentido se habló de energías solar, térmica, geotérmica, eólica, hídrica, mareomotriz, nuclear o atómica y radiante);
- 5) lectura en díadas o tríos al resto de la división de la información obtenida, con síntesis de los aspectos más relevantes por parte del docente;
- 6) elaboración de modelos tridimensionales (en plastilina) de núcleos atómicos de distintos elementos y de los procesos de fisión y fusión nuclear;
- 7) presentación teórica de los intercambios de energía en la biosfera, a partir de un esquema gráfico-conceptual elaborado por el docente en el pizarrón;
- 8) resolución en plenario, con coordinación docente, de un extenso cuestionario que abarcaba, a modo de repaso, toda la información abordada en la unidad.

Contrastando el planteo seleccionado por este docente con el propuesto por Hierrezuelo Moreno y Montero Moreno (1989: pp.146) encontramos una amplia coincidencia, ya que dichos autores indican que a la altura de los 12-13 años se estudie “*fundamentalmente la transmisión de la energía, la transformación de unas formas en otras, analizándose cualitativamente las formas de energía [...]. En este primer acercamiento el tema debe estar estrechamente relacionado con la tecnología, siendo muy conveniente que los alumnos analicen, y construyan, diferentes sistemas transformadores de energía...*”. Respecto a la secuencia de “ingeniería didáctica” propuesta por Tiberghien (1996) la coincidencia ya fue más limitada, pues sólo se relacionó con el abordaje de la energía a partir de sus propiedades de transformación y transferencia. Sin embargo, una diferencia sustancial con esta última propuesta pasa por el énfasis dado por Tiberghien a la formalización por parte de los alumnos a partir de la actividad experimental. En la secuencia puesta en práctica en el Colegio

Nacional, al igual que en el TEF, la actividad experimental sólo se utilizó como disparador en la explicitación de ideas previas de los alumnos.

Conocimientos de los alumnos sobre energía

A fin de obtener una imagen de la construcción de conocimientos relativos al tema energía realizada por los alumnos, y manteniéndonos en este aspecto en el paradigma de las concepciones alternativas, previa y posteriormente al tratamiento áulico del tema, aplicamos un cuestionario similar en ambos contextos. Dicho cuestionario coincidió en los dos cursos en tres ítems, cuyos resultados presentaremos en este apartado. Fueron relevados los conocimientos de toda la población de alumnos presente en cada contexto la clase previa al inicio del tema, vale decir 103 alumnos en el caso del TEF y 28 alumnos en Ciencias Experimentales, mientras que la encuesta de conocimientos finales fue tomada a 88 alumnos en el TEF y 29 en Ciencias Experimentales. Se transcribieron literalmente las respuestas obtenidas a fin de elaborar una base informática que permitiera el tratamiento cuanti y cualitativo de los datos. Y luego se compararon los resultados pre y post abordaje del tema y entre las dos poblaciones estudiadas. En el cuestionario utilizado inicialmente se solicitaba una definición personal del concepto “energía”; luego la presentación de un ejemplo a partir de su idea; y, finalmente, el análisis de una situación problemática. Esta última apuntaba a explorar si los alumnos poseían la idea de energía potencial (en el caso analizado se trataba de energía potencial elástica) y si utilizaban la noción de conservación de la energía. Vale aclarar que, si bien los docentes de ambos contextos conocieron el contenido y la forma del cuestionario a aplicar, en ningún caso orientaron su enseñanza intencionalmente hacia el abordaje de los saberes necesarios para su resolución.

Comentaremos muy brevemente también, en este apartado, algunas informaciones obtenidas a través de entrevistas a una muestra de alumnos de cada contexto (4 alumnos en el caso del TEF y 6 alumnos de Ciencias Experimentales), que complementan y profundizan lo relevado por medio de los cuestionarios.

Definiciones de energía

Inicialmente, los alumnos del TEF definieron a la energía relacionándola con su idea de trabajo (en un 40% de los casos)². Otros la nombraron como una fuerza (22%), en algunos casos vinculándola con el movimiento y en otros con el trabajo. Aproximadamente el 12% mencionó tipos de energía (potencial, cinética, química, lumínica) y otro 12% habló de la energía como causa o consecuencia del movimiento. El 6% expresó con sus palabras su idea sobre el principio de conservación de la energía. Y otro porcentaje similar vinculó la energía con procesos vitales.

Al realizar las encuestas finales, el 11,4% (10 alumnos) de los estudiantes del TEF decidió no responder a este ítem. Un 22,7% (20 alumnos) dijo que es una función de estado que caracteriza el estado de un sistema. El 10,2% (9 estudiantes) la definió como una “variable de estado” que caracteriza a un sistema. Y el 4,5% (4 alumnos) sólo dijo que “identifica/ caracteriza el estado de un sistema”. Un 6,8% (6 alumnos) señaló, entre otras cosas, el carácter abstracto del concepto de energía. 5 estudiantes (5,7%) dijeron que es “un proceso/ que pasa de un estado inicial a un estado final/ pasando por pasos intermedios”. Un porcentaje igual al anterior siguió sólo mencionando tipos de energía (mecánica, potencial, cinética). Otro 6,8% habló de que no se crea ni se destruye, sino que se transforma. El 12,5% (11 casos) continuaron definiéndola estrictamente como “la capacidad de realizar trabajo”, 3 alumnos hablaron de “una forma de producir/ efectuar/ realizar trabajo”, 2 dijeron que es el

² Vale aclarar que un mismo alumno puede estar incluido en más de una de las categorías construidas para los ítems de respuesta abierta (por lo que los porcentajes no suman cien).

“trabajo realizado por una fuerza” y un alumno planteó que es una “función de estado del trabajo”.

En el caso del curso de Ciencias Experimentales, al solicitarles una definición inicial, cuatro alumnos (14%) recurrieron al uso del diccionario, por lo que sus respuestas no serán tomadas en consideración aquí. El 46% de la población se refirió a la energía como una fuerza, que servía para producir movimientos (para 5 de esos casos, o sea casi el 18%), y por algunos además era calificada como “invisible” (3 alumnos, aproximadamente el 10%). Un 21% de los alumnos habló de la energía como electricidad o “descarga eléctrica”. Aproximadamente el 10% (3 alumnos) la plantearon como un constituyente del universo, junto a la materia (tal como fue tratado en clases previas de la asignatura) y también 3 alumnos (10%) la consideraron un recurso que utiliza la sociedad para satisfacer sus necesidades.

En las encuestas finales el 34,5% (10 alumnos) de los alumnos del curso de Ciencias Experimentales optó por mencionar todas o algunas de las propiedades de la energía trabajadas en clase. El 20,7% (6 casos) de los alumnos continuó definiéndola como una fuerza o dijeron directamente que es la fuerza de “alguien” (persona). En 7 casos (24,1%) la siguieron relacionando con el movimiento. Otro 20,7% planteó que no sabía explicar qué es. Finalmente el 6,7% (2 alumnos) la relacionó con el calor, el mismo porcentaje la consideró un constituyente del universo (al igual que en la encuesta inicial), otros 2 alumnos siguieron hablando de “descarga eléctrica” y otros 2 dijeron que es “invisible” o “imperceptible”. Otras definiciones no recurrentes que propusieron los alumnos amplían la multiplicidad de significados atribuidos al concepto: “flujo que se transmite en ondas”; “forma de explicar el movimiento, el crecimiento y la reproducción”; “algo que es muy rápido, puede atravesar objetos”; “...sabemos que gracias a ella ocurre casi todo en el universo”.

Ejemplos de las ideas de los estudiantes sobre la energía

Los ejemplos dados inicialmente por los alumnos del TEF se relacionaron principalmente con procesos vitales y en muchos de esos casos mencionaron específicamente a la fotosíntesis como transformación de energía lumínica en química. Otro grupo importante de ejemplos se vinculó con el funcionamiento de aparatos que utilizan energía eléctrica. También aparecieron casos en los que la energía se asoció con el movimiento de objetos o en los que se plantearon situaciones que involucraban la posición de un cuerpo a determinada altura (hablando específicamente de la energía potencial). Los alumnos se refirieron asimismo a diferentes tipos de energía (solar, eólica, lumínica, química, calórica, hídrica, eléctrica, nuclear, etc). En las encuestas finales los ejemplos más abundantes se relacionaron con descripciones de situaciones de caída libre o de tiro vertical de diferentes objetos, y las consiguientes transformaciones de energía potencial y cinética. Luego siguieron en frecuencia los ejemplos de situaciones en que algún objeto cambiaba su estado dinámico (“cuando empujo una pelota que se encontraba en reposo”) o termodinámico (“calentar agua en un jarro”). Fueron poco frecuentes las referencias a la fotosíntesis u otros procesos vitales.

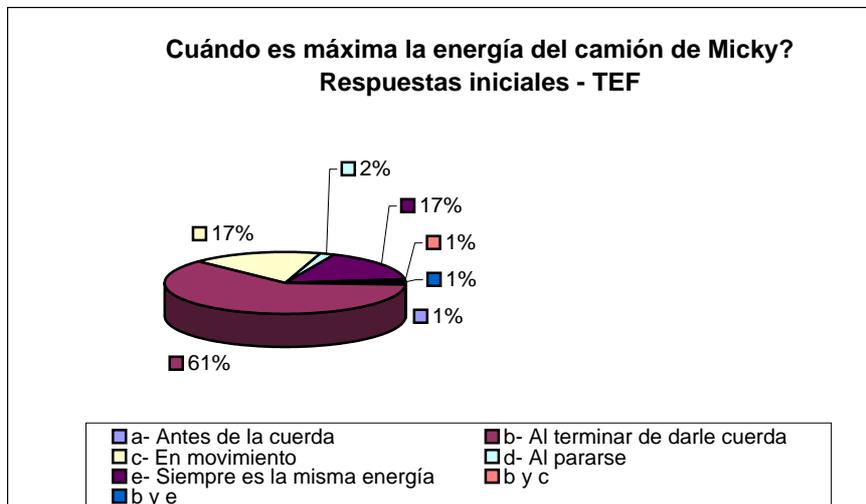
Al brindar ejemplos en las encuestas iniciales los alumnos de Ciencias Experimentales acudieron principalmente a los tipos de energía (hidroeléctrica, solar, eólica) y al uso de aparatos eléctricos. Unos pocos ejemplificaron su idea con objetos en movimiento. Al finalizar el tratamiento del tema, si bien muchos alumnos continuaron sólo mencionado los mismos tipos de energía, otros se refirieron a los procesos de transferencia vistos en clase: “una licuadora funciona por medio de energía eléctrica que se transforma en energía mecánica”.

Situación problemática “El camión de Micky”

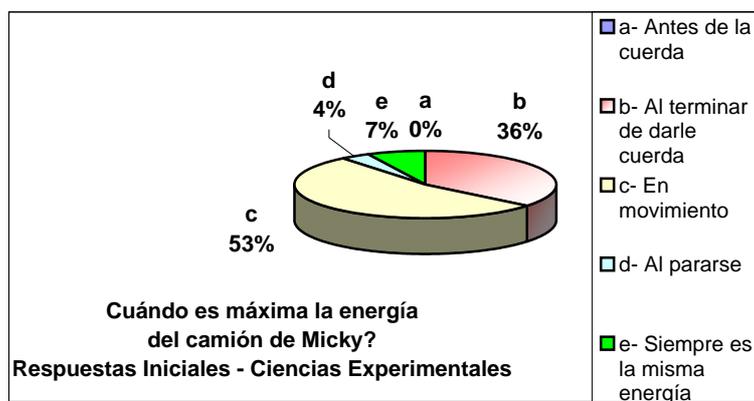
La situación problemática que les planteamos a los alumnos, titulada el “Camión de Micky”, fue elaborada por Brook y Driver (1984) y utilizada por Pérez Landazábal *et al*

(1995). Consiste en presentarles el caso de un camión a cuerda, cuyo estado inicial es de reposo. Luego de darle cuerda el camión se mueve y finalmente se detiene. La pregunta, para cuya respuesta se daban una serie de opciones, era cuándo es máxima la energía del camión. Además se solicitaba que la opción fuera justificada.

Las respuestas iniciales que obtuvimos, en el caso del TEF, se distribuyeron de la siguiente forma:



En el caso del curso de Ciencias Experimentales, la distribución fue como se aprecia en el diagrama:



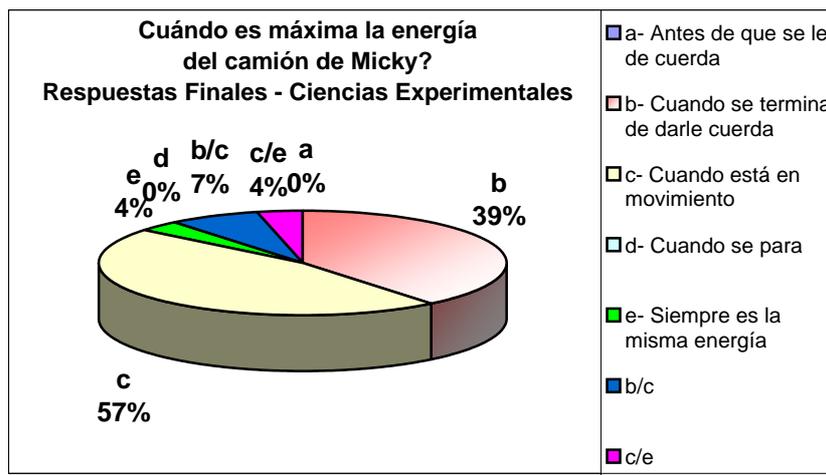
Como surge de la lectura de los diagramas, en ambos cursos fue importante el porcentaje de alumnos que optó por la respuesta b, es decir “Al terminar de darle cuerda” (61 y 36% respectivamente), pero entre los alumnos de 7° de EGB esta opción fue superada por la c, vale decir “En movimiento” (53% de la población). La respuesta c también fue elegida por un 17% de los alumnos del TEF. Otro 17% de los alumnos del TEF seleccionaron la respuesta e, planteando que la energía “Siempre es la misma”, mientras que entre los alumnos de Ciencias Experimentales sólo la escogió un 7% (dos alumnos).

En el caso del TEF, las respuestas más frecuentes (opción b) se basaron en la idea de que la energía se acumula en el camión y se libera cuando éste se mueve: “*Es cuando la energía está totalmente acumulada dentro, para después liberarse en el movimiento*”. Algunos casos mencionaron explícitamente que la energía “*se termina*”, lo cual daría una idea de que existe un gasto de energía. Once alumnos se refirieron a la existencia de energía potencial en sus justificaciones: “*Al dársele cuerda está preparado para moverse. La E potencial es máxima*”. Y en vinculación con su definición de la energía como capacidad para

realizar trabajo, algunos alumnos relacionaron el movimiento con la realización de trabajo: “El camión tiene su máxima capacidad de realizar el trabajo cuando se le da el máximo de cuerda, y esta e potencial disminuye a medida que se realiza dicho trabajo”.

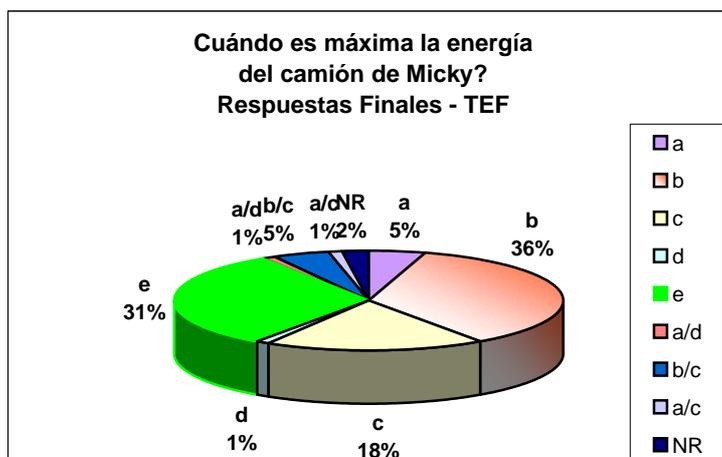
Los alumnos de Ciencias Experimentales que optaron mayoritariamente por la respuesta c, en sus justificaciones relacionaron la energía máxima con la existencia de una fuerza: “Porque hace fuerza al andar”. Algunos alumnos describieron a la energía como algo que se manifiesta en el movimiento y otros como algo “que se gasta”, coincidiendo en este último aspecto con algunos alumnos del TEF: “Porque dándole cuerda se llena de energía y la descarga al moverse”.

La distribución de las respuestas en las encuestas finales del curso de Ciencias Experimentales fue:



Las justificaciones de las respuestas finales más frecuentes en Ciencias Experimentales (opción c) variaron notablemente, ya que ninguno mencionó la existencia de una fuerza. Estos estudiantes consideraron que la energía era máxima en ese momento por hallarse el camión en movimiento, y en 5 casos dijeron que allí existía energía mecánica. Los que optaron por la respuesta b continuaron con la idea de la energía como *combustible*: “Porque cuando le das cuerda se está llenando de energía y cuando se termina de darle cuerda se llenó de energía”.

En el caso del TEF, la distribución final obtenida fue la que se presenta en el diagrama que sigue.



La lectura comparativa de los diagramas finales señala que el porcentaje de alumnos que eligieron la respuesta b (“Al terminar de darle cuerda”) fue del 36% en el caso del TEF y

39 % en Ciencias Experimentales, pero entre estos últimos esta opción continuó siendo superada por la c (“En movimiento”), escogida por un 57% de la población. La respuesta c continuó siendo elegida por un 18% de los alumnos del TEF. El 31% de los alumnos del TEF seleccionó la respuesta e, planteando que la energía “Siempre es la misma”, mientras que entre los alumnos de Ciencias Experimentales sólo escogió esa opción un 4%. Llamativamente, en el caso del TEF apareció un 5% de los alumnos optando por la respuesta a (alternativa que no apareció en Ciencias Experimentales).

Los alumnos del TEF continuaron basándose para la elección de la opción b en la idea de que la energía se acumula en el camión y se libera cuando éste se mueve. Sólo apareció un análisis que incluyó la existencia de fuerzas no conservativas (el roce) en los otros momentos del movimiento: “*La energía total no se conserva porque actúan fuerzas no conservativas (roce)*”. Los alumnos que optaron por la respuesta e consideraron erróneamente que se producía una transformación de energía potencial a energía cinética, que luego volvía a ser energía potencial o argumentaron que “*la energía no se crea ni se destruye, se transforma*”.

En el caso del Taller de Física, del análisis comparativo entre respuestas iniciales y finales surgió que: a) se produjeron variaciones significativas en los resultados inicial y final; b) la opción correcta b descendió en forma remarcable (de 61% a 36%); c) apareció un marcado aumento en la elección del ítem e (17% a 31%); d) apareció como opción el No responde, con un 2 % que no se registraba al inicio; e) también aumentó la elección de dos respuestas simultáneas (2% a 7% en total). La comparación de los resultados iniciales y finales del curso de Ciencias Experimentales permitió observar que: a) nadie seleccionó la respuesta a como válida, ni antes ni después del tratamiento del tema; b) En la encuesta final aparecieron nuevas opciones y desapareció la opción d; c) Al final aumentó el número de alumnos que eligió la opción b (correcta), pero a la vez aumentó la dispersión entre aquellos que no eligieron la opción apropiada.

En las encuestas iniciales, tanto en las definiciones presentadas cuanto en los ejemplos se evidenció el abordaje al concepto de energía que los alumnos del TEF realizaron en otras instancias formativas, mientras que los alumnos del Colegio Nacional partieron de situaciones más cotidianas. En cuanto a la resolución de la situación problemática la mayor cantidad de respuestas correctas (opción b) se obtuvo en el TEF, aunque la concepción de energía potencial evidenciada en las justificaciones aparece erróneamente como una propiedad del objeto, independientemente de su estado.

Los resultados finales obtenidos respecto a la definición personal del concepto reflejaron por un lado, la ampliación del universo de relaciones conceptuales que los alumnos de ambos contextos fueron capaces de establecer. Por otro lado permitieron advertir la multiplicidad de sentidos que adquirió la energía para los alumnos, la mayoría de ellos basados en las cuestiones planteadas en clase, y otros que constituyeron versiones e interpretaciones personales de las mismas (en muchos casos erróneas desde el punto de vista científico). Los ejemplos de aplicación de su idea de energía ofrecidos, tanto por los alumnos del TEF, cuanto por los de Ciencias Experimentales, se restringieron a los dados en clase o a los presentados en los libros de texto. Esto muestra un movimiento de reducción del campo de aplicación, inverso al de ampliación descrito respecto de las definiciones. Respecto de la situación problemática, los alumnos mostraron cierta apropiación del lenguaje utilizado en clases y textos, pero sólo algún caso aislado demostró capacidad de transferencia de los aprendizajes realizados a partir de otras situaciones.

El análisis de las entrevistas con alumnos permitió, entre otras cosas, profundizar la comprensión de las respuestas escritas dadas por ellos en los cuestionarios. Varios de los alumnos de Ciencias Experimentales entrevistados relacionaron las variaciones de la energía con procesos, pero en ningún caso consideraron la necesidad de interacciones. Coherentemente con algunas de las nociones presentadas en clase, utilizaron términos como

“energía mecánica” (en muchos casos) y “energía química” (sólo en dos), el primero asociado a movimientos y el segundo a la composición de las sustancias o a procesos químicos. En el caso de los estudiantes del TEF, dos mantuvieron la concepción de la energía como fluido, que se desplaza de sistema en sistema. En la resolución de la situación problemática tres de los cuatro entrevistados del TEF acudieron a la noción de trabajo, pero partiendo de la idea alternativa que lo relaciona con un esfuerzo físico. Uno de los estudiantes rescató como aprendizaje la idea de que para hablar de energía es necesario analizar el sistema y su entorno o, al menos, diferentes sistemas. Otra alumna destacó el cambio de perspectiva planteada por el TEF en la Termodinámica, al partir de un modelo macroscópico de los fenómenos (diferente del microscópico abordado en materias previas de su carrera).

A pesar de las variaciones registradas previa y posteriormente al abordaje del tema, nuestros hallazgos coinciden con las conclusiones de diversas investigaciones acerca de las ideas previas de los alumnos sobre el tema energía, sintetizadas por Hierrezuelo Moreno y Montero Moreno (1989) en los siguientes ítems: a) asociación de la energía con los seres vivos; b) identificación fuerza-energía; c) la energía sinónimo de combustible; d) la energía como algo “casi” material almacenado; e) la energía asociada al movimiento y a la actividad e) la energía puede gastarse.

Comentarios finales

En este trabajo hemos descrito la experiencia del TEF y la propuesta implementada por un docente de Ciencias Experimentales en el Colegio Nacional, realizando un primer análisis de las secuencias didácticas de presentación de la temática, desde los puntos de vista conceptual y metodológico; y hemos caracterizado los conocimientos previos y finales de los alumnos sobre energía. Obtuvimos, de esta manera, una aproximación inicial a dos ámbitos de abordaje del conocimiento sobre energía, con grados diversos de transposición respecto a los planteos científicos. Pudimos asimismo identificar interesantes coincidencias en las propuestas con las investigaciones educativas más actualizadas sobre el aprendizaje y la enseñanza de dicho tema. Estas coincidencias podrían proceder de la formación específica de algunos de los profesores observados en el área de la didáctica de las ciencias naturales, pero el producto final constituye una elaboración original basada fundamentalmente en el conocimiento construido a partir de sus experiencias docentes.

La indagación de los conocimientos previos y finales de los alumnos sobre el tema no evidenció cambios notables respecto a la noción de energía y a la perspectiva de análisis de la situación problemática planteada. Sin embargo, sí pudo observarse, especialmente en las entrevistas, la utilización de un lenguaje diferente al inicial, más próximo al científico. Partiendo de concebir al aprendizaje como un proceso que involucra la producción/creación de nuevas significaciones (Goulart *et al*, 2003), podemos evaluar como positivo el cambio registrado, confirmado también en las evaluaciones realizadas por los docentes. Por otro lado los resultados obtenidos podrían vincularse con el instrumento utilizado, el cual exigía de los alumnos la presentación de una definición de energía (que en el caso de Ciencias Experimentales nunca fue explicitada por el docente) y un nivel de apropiación de los conocimientos que permitiera su transferencia al análisis de situaciones no tratadas en el aula.

A fin de profundizar en la comprensión de los procesos de construcción de conocimientos desarrollados en las clases nos hallamos en la actualidad analizando las interacciones discursivas entre docentes y alumnos. Ello nos permitirá elaborar hipótesis acerca de las complejas relaciones existentes entre procesos de enseñanza y aprendizaje.

Referencias bibliográficas

- ARONS, A.B. 1999. Development of energy concepts in introductory physics courses. *American Journal of Physics*, 67 (12), 1063-1067.
- BROOK, A. y DRIVER, R. 1984. Aspects of Secondary students' Understanding of Energy. *Children's Learning in Science Research Group*. (CSSME: University of Leeds).
- CALLEN, H.B. 1983. Termodinámica. Introducción a las teorías físicas de la termostática del equilibrio y la termodinámica irreversible. (Ed. AC: Madrid)
- CORDERO, S., PETRUCCI, D. y DUMRAUF, A. G. 1996. Enseñanza Universitaria de Física: ¿En un Taller?. *Revista de Enseñanza de la Física*, 9 (1), 14-22.
- COTIGNOLA, M. I., BORDOGNA, C., PUNTE, G. y CAPPANNINI, O. M. 2002. Difficulties in learning thermodynamic concepts: are they linked to the historical development of this field?, *Science & Education*, 11, 279-291.
- DUMRAUF, A. G., CORDERO, S. y COLINVAUX, D. 2000. Construyendo puentes y fronteras: Elementos para un análisis sobre género discursivo en una clase universitaria de física. *Actas del V Simposio de Investigadores en Educación en Física*, Santa Fe, Argentina.
- DUMRAUF, A.G. 2001. "Esas otras cosas que se enseñan que no son física": Imágenes de ciencia y prácticas docentes en una experiencia universitaria de enseñanza de física. *Investigaciones en Enseñanza de las Ciencias*, 6 (1).
- ESPÍNDOLA, C.R. y DUMRAUF, A.G 1998. Las ciencias experimentales en el Tercer Ciclo de la EGB: una propuesta de acercamiento entre las concepciones de los alumnos y las científicas. *Actas del Cuarto Simposio de Investigadores en Educación en Física*. La Plata. Argentina.
- ESPÍNDOLA, C.R. y DUMRAUF, A.G. 2002. "El huevo loco": Una propuesta de introducción a la metodología científica en el aula. *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales*. 34, 116-120.
- GOULART, C.M, COLINVAUX, D. y Rocha SALOMÃO, S. 2003. Linguagem científica e linguagem literaria em aulas de ciencias: a busca de dimensões teórico-metodológicas de análise. *Atas eletrônicas do III Encontro "Linguagem, cultura e cognição"*, Belo Horizonte.
- Hierrezuelo MORENO, J. y Montero MORENO, A. 1989. "Energía", en: La ciencia de los alumnos. Su utilización en la didáctica de la Física y la Química. (Ed. Laia, Ministerio de Educación y Ciencia. España).
- HUTCHINSON, S.A. (1988) Education and grounded theory. In SHERMAN, R.R. & WEBB, R.B. (eds) Qualitative research in education: Focus and Methods. (The Falmer Press. London), 123-140.
- MICHINEL, J.L. y D'Alessandro MARTÍNEZ, A. 1994. El concepto de energía en los libros de texto: de las concepciones previas a la propuesta de un nuevo sublenguaje. *Enseñanza de las ciencias*, 12 (3), 369-380.
- Pérez LANDAZÁBAL, M.C., FAVIERES, A., MANRIQUE, M.J. y VARELA, P. 1995. La energía como núcleo en el diseño curricular de la Física. *Enseñanza de las Ciencias*, 13 (1), 55-65.
- PETRUCCI, D. y CORDERO, S. 1994. El cambio en la concepción de evaluación. Implementación universitaria. *Enseñanza de las Ciencias*, 12 (2), 289-294.
- POZO, J.I. y Gómez CRESPO, 1998. Aprender y enseñar ciencias. (Paidós. Barcelona).

SOLBES, J. y TARÍN, F. 1998. Algunas dificultades en torno a la conservación de la energía. *Enseñanza de las ciencias*, 16 (3), 387-397.

TARSITANI, C. y VICENTINI, M. 1996. Scientific mental representations of thermodynamics, *Science & Education*, 5, 51-68.

TIBERGHIEU, A. 1996. Energy teaching at high school level: a challenge?, *Proceedings of the "International Conference on Teaching the Science of Condensed Matter and New Materials"*, Universidad de Udine, 95-105.