
ANÁLISIS DE UNA EXPERIENCIA DIDÁCTICA REALIZADA PARA CONSTRUIR CONCEPTOS FUNDAMENTALES DE TERMODINÁMICA

Marta Cardenas

Silvia Ragout de Lozano

Instituto de Física- Universidad Nacional de Tucumán

S.M.de Tucumán

Argentina

Resumen

Se describen las características de una propuesta didáctica, fundamentando su diseño en una perspectiva constructivista del proceso enseñanza-aprendizaje.

Se analizan las puestas en práctica de la propuesta en dos niveles diferentes: durante un taller de capacitación para docentes de Física, y como parte de un curso regular de Física Básica universitaria.

Se señalan los aspectos que resultaron más positivos, y se mencionan algunos problemas pendientes en los que se continúa trabajando.

I. Introducción

La mayoría de los estudios sobre las concepciones espontáneas sobre calor y temperatura se han realizado con niños y adolescentes de hasta 16 años. En el nivel universitario son relativamente pocos los trabajos que se han publicado sobre el tema.

Nuestra experiencia docente en la universidad nos indica que los alumnos que llegan a este nivel educativo mantienen aún las confusiones entre calor y temperatura que se mencionan en la bibliografía (Tiberghien,A., 1983; García Hourcade y Rodríguez de Avila, 1985; Pérez, S., 1992). Por otra parte, la comprensión y la aplicación de los principios y leyes de la Termodinámica, representa para los alumnos una tarea difícil en la que muchos fracasan.

Con el objetivo de promover un aprendizaje significativo de estos temas, que indudablemente son fundamentales en la formación de futuros científicos e ingenieros, emprendimos la tarea de planificar e implementar un módulo para la enseñanza de

los fenómenos térmicos, desde una perspectiva constructivista del proceso enseñanza-aprendizaje.

El módulo fue desarrollado en dos niveles y con objetivos diferentes:

a) Como un curso-taller para profesores de enseñanza media y universitaria básica, dentro de un program de perfeccionamiento y actualización docente.

b) Como parte de un curso de Física Básica de la Facultad de Ciencias Naturales, destinado a alumnos de segundo año de diferentes carreras.

En este trabajo, describimos las experiencias realizadas, comunicamos los resultados obtenidos y puntualizamos las dificultades que aún quedan por resolver.

II. Antecedentes de la propuesta didáctica

Entre los estudiantes, incluso de nivel universitario, es usual que el aprendizaje del concepto de temperatura presente dificultades en el sentido de que en la vida cotidiana no está totalmente diferenciado del concepto de calor. Además, porque los alumnos suelen restringir su significado a la noción superficial de que la temperatura es una magnitud física que permite caracterizar el estado de los cuerpos según sensaciones subjetivas.

Siendo la temperatura y el calor conceptos básicos para el estudio y la comprensión de la Termodinámica, nos pareció pertinente indagar sobre las características y grado de las dificultades de nuestros estudiantes en la conceptualización de dichas magnitudes.

Como primer paso, se realizó una investigación exploratoria, que se llevó a cabo con estudiantes de Ciencias Naturales y de Ciencias Exactas, antes de que recibieran instrucción sobre el tema en los respectivos cursos de Física.

A ambos grupos de alumnos, que totalizaban más de 180 personas, se les suministró un cuestionario escrito con varios ítems, el primero de ellos decía

“Explique qué es el calor”

Sin duda, la palabra “explique” tiene varios significados, y al no darse ninguna consigna aclaratoria, se permitía que se la tomara en cualquiera de sus varias acepciones: desde dar el significado de la palabra diciendo cuál es su uso o aplicación, hasta dar, a través de un ejemplo, las razones que permiten que se produzca el proceso que científicamente llamamos “calor”.

Las respuestas obtenidas muestran que un gran porcentaje de alumnos ni siquiera puede expresar el significado que en el lenguaje cotidiano tiene la palabra calor. Los alumnos mostraron en general serias dificultades para usar, si no con precisión

al menos con claridad, el lenguaje escrito. Se presentaron también ejemplos de argumentaciones contradictorias, generalmente en razonamientos de tipo circular, revelando falencias en el pensamiento lógico (Ragout de Lozano, S. y Cárdenas, M., 1995).

También resultó llamativo que los estudiantes que provenían de escuelas técnicas tampoco pudieron, en general, responder satisfactoriamente la cuestión.

Como ejemplos, transcribimos algunas respuestas ilustrativas:

“El calor lo podemos definir como un tipo de energía de uso industrial, pero generalmente lo definimos como una sensación térmica, que es captada por los seres vivos al aumentar la temperatura ambiente” (Técnico Electromecánico, 19 años)

“El calor es una forma de energía. Se produce con la combinación de oxígeno con hidrógeno, por el rozamiento de cuerpos.

Para mí es la aceleración o agitación de las moléculas de un determinado cuerpo, que al ser expuesto al trabajo o acción del vecino, circula a mayor velocidad produciendo choques una con otra y a la vez calor (Hasta los cuerpos fríos emanan calor)” (Téc. Mecánico Electricista, 19 años)

“El calor es una masa de energía en el cual están contenidos grandes niveles de temperatura” (Tec. Electromecánico, 22 años)

“El calor es una sensación térmica producida por las altas temperaturas” (Bachiller, 18 años)

“Es la vibración de las moléculas produciendo su separación, lo cual produce los cambios de estado” (Bach., 17 años)

“El calor es una sensación térmica que puede ser producida en algunos casos por frotación, movimiento muscular o incluso el calor del sol” (Perito Mercantil, 20 años)

“El calor es un fenómeno físico-químico, que está compuesto de carbono y oxígeno” (Bach., 18 años)

En la misma investigación se indagó además respecto a las ideas de los alumnos sobre “temperatura” y también sobre algunos fenómenos térmicos. No entraremos a detallar los resultados obtenidos, pues no es el propósito de este trabajo, pero sí podemos afirmar que son tantas y tan graves las confusiones y dificultades detectadas, que decidimos encarar el diseño de una estrategia instruccional con el objetivo de lograr

la construcción en el aula de conceptos físicos básicos para una clara conceptualización y comprensión de los fenómenos térmicos.

III. Fundamentación e instrumentación de la propuesta

De acuerdo a Driver (1986), las características principales de la visión constructivista del aprendizaje son:

- i) lo que hay en el cerebro del que va a aprender tiene importancia
- ii) encontrar sentido supone establecer relaciones
- iii) quien aprende construye activamente significados
- iv) los estudiantes son responsables por su propio aprendizaje

Esta perspectiva del aprendizaje tiene implicaciones pedagógicas que pueden plasmarse en diferentes propuestas metodológicas para ser desarrolladas en el aula. En ellas se insiste en que la labor docente no es tratar de “transmitir” conocimientos, sino *conducir* el proceso de aprendizaje, de manera a posibilitar que los estudiantes construyan sus propios significados. Esto no se debe confundir con la llamada “enseñanza por redescubrimiento” (Moreira, M. y Calvo Redondo, A., 1993) sino que implica un *cambio* en el rol del docente, que deja de ser sólo transmisor de conocimientos ya elaborados, y se convierte en *conductor* imprescindible del proceso de construcción y atribución de significados (Gil Pérez, D., 1983 ; Calatayud, M. y col., 1990; Zylbersztajn, A y col., 1994).

Sobre la base de esta concepción del aprendizaje se elaboró una propuesta metodológica basada en el desarrollo de varias secuencias de actividades, cuidadosamente planificadas y seleccionadas, teniendo en cuenta la información obtenida en la investigación exploratoria ya mencionada, y otros resultados de la investigación educativa sobre el tema.

Cada secuencia de actividades está estructurada de manera a lograr que los estudiantes tomen conciencia de sus propias ideas sobre un tema específico, las pongan a prueba a través de experiencias sencillas y, a partir de ellas, puedan construir, *orientados por el profesor*, los significados científicos correspondientes.

El orden de las diferentes secuencias de actividades no es rígido, excepto en la primera parte dedicada a discriminar los conceptos de calor y temperatura. Las secuencias siguientes pueden elegirse en el orden que resulte más conveniente a las disposiciones de tiempo y a otras cuestiones circunstanciales. Del mismo modo, se pueden omitir o agregar secuencias según lo requiera el grupo de alumnos con el que se esté trabajando.

Es importante insistir sobre la importancia de las intervenciones del profesor: éstas son fundamentales, a fin de controlar que el proceso siga los pasos previstos y se desarrolle en un lapso de tiempo razonable y acorde con las exigencias institucio-

nales. Por otra parte, el proceso enseñanza-aprendizaje así iniciado no puede limitarse al desarrollo de las actividades ya mencionadas y que tienen como principal protagonista al alumno, sino que valiéndose de la fuerte motivación lograda a través de ellas, y a partir de los conceptos básicos ya construidos, el profesor tratará de complementar, ampliar y profundizar los contenidos para acceder a la formalización estricta que exige la Física a nivel universitario.

En los dos cursos en los cuales se puso en práctica la propuesta, se empleó el mismo conjunto de actividades que debían ser realizadas en grupos pequeños (4 ó 5 personas), para luego hacer una comparación de los resultados de todos los grupos. Durante la discusión y mediante la coordinación del docente, se analizaban las diferencias hasta que se lograba construir los significados científicamente válidos.

A continuación, el profesor hacía una síntesis de los resultados obtenidos, como punto de partida para realizar las aclaraciones pertinentes, y para profundizar aquellos aspectos conceptuales que así lo requirieran. Cabe acotar que el modelo explicativo utilizado fue la teoría corpuscular de la materia. Las explicaciones que se prefirieron en esta etapa fueron, dentro de lo posible, de tipo batígeno, es decir, aquellas en las que se hace alusión a los mecanismos profundos -microscópicos- que subyacen en los fenómenos macroscópicos (Cárdenas, M. y Ragout de Lozano, S., 1995). Lo anterior fue una consecuencia del análisis de las respuestas encontradas en la investigación exploratoria inicial, en las que muchos alumnos usaron espontáneamente este tipo de explicación, haciendo referencias a los mecanismos de *producción* de los fenómenos térmicos.

Las secuencias de actividades diseñadas incluyen:

- * el análisis cualitativo de situaciones concretas
- * la emisión de hipótesis explicativas
- * la predicción de resultados
- * el trabajo experimental con material de bajo costo
- * la resolución de ejercicios y/o problemas de aplicación
- * el análisis, confrontación y discusión de resultados
- * lecturas complementarias acordes al nivel de los participantes
- * realización de trabajos prácticos escritos para la evaluación del aprendizaje

IV. El Curso-Taller para profesores PROFESORES

Dentro de un programa de capacitación docente dirigido a profesores de enseñanza media, terciaria y universitaria básica, presentamos nuestra propuesta metodológica con el propósito de transferirla y de divulgar los resultados de la investigación educativa sobre el tema.

Nos pareció que la forma más efectiva de lograr una buena transferencia era justamente poner en práctica la propuesta didáctica durante el desarrollo del curso-taller. De esta manera, los participantes debían realizar las actividades destinadas a los alumnos, y nosotras, las coordinadoras, asumir el rol del profesor en el aula. Esta modalidad también permitiría la revisión y profundización de los contenidos físicos específicos, con lo que se satisfaría una necesidad expresada en tal sentido por docentes que asistieron a talleres que coordinamos con anterioridad (Ragout de Lozano y Cárdenas, 1994).

Corresponde aquí señalar que para la comprensión de los procesos termodinámicos, es crucial la conceptualización de que la temperatura es la variable de estado que permite predecir si van a ocurrir o no procesos naturales de interacción térmica. Se hace necesario, por lo tanto, destacar y valorar más las actividades que conducen a la construcción del concepto de equilibrio térmico, como punto de partida para lograr la diferenciación de los conceptos de calor y temperatura.

En el transcurso del taller con los docentes pudimos observar que la realización de dichas actividades dio lugar, en varios de los participantes, a un proceso de re-significación del concepto de temperatura. Las discusiones que se generaron al analizar las conclusiones obtenidas por los diferentes grupos de trabajo dieron como resultado la valorización del Principio Cero de la Termodinámica, el que hasta ese momento era considerado un enunciado trivial sin que se hubiera captado su relevancia epistemológica. La nueva categorización del concepto de temperatura pudo observarse en varios mapas conceptuales elaborados individualmente por los participantes, en los que se puso de manifiesto un incremento significativo de la jerarquía asignada por ellos a esta variable de estado.

Por otra parte, en la discusión final sobre los contenidos del taller, pudimos observar que a pesar de que los temas desarrollados ya eran conocidos por los participantes, se logró una visión globalizadora de los fenómenos térmicos. De igual manera y como consecuencia del análisis cualitativo realizado, de diferentes procesos, se logró atribuir un nuevo significado al Primer Principio de la Termodinámica, al ponerse en evidencia su alcance, mucho mayor que el originalmente asignado por muchos de los profesores asistentes.

En la evaluación final del taller, los participantes que se desempeñan en el nivel medio coincidieron en manifestar que esta propuesta es transferible, adaptando adecuadamente el nivel de profundización y discusión, a las aulas en las que desarrollan sus tareas docentes.

V. Las clases en un Curso Universitario de Física Básica

Durante el desarrollo de los cursos 1994 y 1995 de Física I y Física Biológica para estudiantes de la Facultad de Cs. Naturales, se puso en práctica la metodología instruccional aquí presentada. Lamentablemente, las clases teóricas no son de asistencia obligatoria, lo que dificultó el análisis de los resultados ya que hubo alumnos que no asistieron a todas las sesiones programadas para la instrucción.

Se logró, durante el desarrollo del módulo, que los alumnos participaran activamente, lo que generó una atmósfera de trabajo desde todo punto de vista favorable, sobre todo por que los alumnos se sentían más predispuestos a expresar libremente sus ideas, para confrontarlas con las de sus compañeros, y cambiarlas si las nuevas ideas que se proponían (ya sea de parte de otro alumno o del profesor) les resultaban más convincentes.

Es oportuno destacar que en el material didáctico elaborado hay actividades diseñadas especialmente para estimular la emisión de hipótesis, referidas particularmente a situaciones de equilibrio térmico, que luego se pudieran contrastar experimentalmente. Durante la realización de tales actividades, se generaron interesantes discusiones ya que varios grupos proponían, para predecir la temperatura de equilibrio, hacer promedios aritméticos o restas de temperaturas, es decir que consideraban a éstas como variables extensivas. Este error ya ha sido reportado por otros investigadores, pero en general referido a alumnos más jóvenes y a niños (Pérez,B.,1992).

Como resultado de la realización de las secuencias de actividades, los alumnos lograron finalmente, entre otras cosas:

- diferenciar claramente los conceptos de temperatura y calor
- concebir la temperatura como variable intensiva
- explicar los cambios de estado, la dilatación térmica y otros fenómenos debidos al intercambio de calor entre diferentes sistemas
- interpretar el “equivalente mecánico del calor”

La afirmación anterior está fundada en los resultados de la evaluación continua realizada durante la etapa de instrucción y en la evaluación final realizada para la aprobación de los cursos respectivos.

También en el transcurso de la evaluación para promover percibimos que se ponía en evidencia una dificultad vinculada con el concepto, totalmente nuevo para los alumnos, de energía interna. Se constata una tendencia a considerarla como una propiedad intensiva de los sistemas físicos, y quizás como consecuencia de ello, a establecer una especie de equivalencia entre la energía interna (o su variación) y la temperatura.

Sin embargo, la dificultad arriba mencionada no nos resulta novedosa, por cuanto también la hemos encontrado en alumnos de la Facultad de Ciencias Exactas que

han sido instruidos con la metodología tradicional. A este respecto, podría señalarse como posible causa de la confusión, al hecho de que generalmente, tanto durante la instrucción como en la etapa de ejercitación, al Primer Principio de la Termodinámica se lo aplica casi exclusivamente, y obviamente por razones de simplicidad, a procesos experimentados por sistemas cerrados en estado gaseoso. Al referirse a la energía interna de los gases (ideales), los textos que manejan los alumnos, y a los que recurren cuando preparan sus exámenes finales, expresan que "...la *energía interna* de un gas ideal es *sólo* función de la temperatura...", omitiendo destacar su carácter de magnitud extensiva, y que también depende de la cantidad de materia que conforma el sistema que se está estudiando.

VI. Comentarios finales

Los resultados obtenidos, tanto en el taller para docentes como en el curso para estudiantes, indican que la estrategia didáctica implementada es efectiva para lograr la construcción de conceptos fundamentales para el estudio de la Termodinámica.

En el curso para alumnos se consiguió además que los mismos asumieran un papel más activo, lo que resultó muy motivador para el aprendizaje, creándose un clima afectivo en el aula muy favorable para el logro de cambios conceptuales. La misma conclusión puede extenderse al taller para docentes.

Uno de los docentes que participó en el taller, contando con nuestro asesoramiento, puso en práctica esta propuesta didáctica con sus alumnos del nivel medio, obteniendo resultados favorables, puesto que las evaluaciones finales fueron aprobadas con mayor rendimiento en comparación con los logrados en su práctica anterior.

Con la intención de resolver las dificultades señaladas en la conceptualización de la energía interna, se prepararon nuevas secuencias de actividades tendientes a lograr una correcta construcción de este concepto.

Cabe destacar que, dados los buenos resultados obtenidos, esta estrategia didáctica continúa aplicándose en los cursos regulares de Física Básica de la Facultad de Ciencias Naturales.

VII. Referencias

- ARDENAS, M. y RAGOUT de LOZANO, S., 1995. Explicaciones de procesos termodinámicos a partir del modelo corpuscular: una propuesta didáctica. Aceptado para su publicación en la revista *Enseñanza de las Ciencias*, España.
- CALATAYUD, M., 1990. *La construcción de las ciencias Físico-Químicas*. (NAU llibres, Valencia, España)

- DRIVER,R.,1986. Psicología cognoscitiva y esquemas conceptuales de los alumnos. *Enseñanza de las Ciencias* 6(2), 109-120
- GARCIA HOURCADE,J.L. y RODRIGUEZ de AVILA,C, 1985. Preconcepciones sobre el calor en 2º de BUP.*Enseñanza de las Ciencias*.pp 185-193
- GIL PEREZ,D.,1983. Tres paradigmas básicos en la enseñanza de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*,1, 26-23
- MOREIRA,M. y CALVO REDONDO,A.,1993. Constructivismo: significados, concepciones erróneas y una propuesta. *Memorias de REF VIII*, pp 237-248.
- PEREZ,B.,1992. Investigación de concepciones alternativas sobre temperatura y calor. Trabajo final para acceder al título de Licenciada en Física. Inst. de Física. Univ. Nac. de Tucumán.
- RAGOUT de LOZANO,S., CARDENAS,M y OTROS, 1994. *El aula como sistema cultural: seis etnografías en Tucumán* (Instituto de Investigaciones en Ciencias de la Educación, Univ.Nac.de Tucumán)
- RAGOUT de LOZANO,S. y CARDENAS, M.,1995. El comportamiento de los gases ideales: un análisis de las explicaciones que dan los estudiantes. *Memorias de la Novena Reunión Nacional de Educación en la Física*, pp186-195.
- TIBERGHIEAN,A.,1983. Critical review on the research aimed at elucidating the sense that the notions of temperature and heat have for students aged 10 to 16 years. *International summer workshop: Research on Physics Education* Lalonde les Maures-France.
- ZYLBERSZTAJN, A., PEDUZZI,S.,DE QUADRO PEDUZZI,L.O. y DA SILVA, S.M., 1994. Hacia un cambio en la concepción de movimiento de Estudiantes de la secundaria: un experimento en clase.pp 20-24.

Nota: Una versión preliminar de este trabajo fue publicada en las Memorias de la Novena Reunión Nacional de Educación en la Física, REF 9, realizada en Salta, Argentina, en setiembre de 1995.