

Calor y temperatura. Esquemas alternativos en estudiantes de preparatoria

Salvador Jara Guerrero

*Departamento de Física, Universidad Michoacana
Edificio B, Ciudad Universitaria. Morelia, Michoacán, México*

(Recibido el 26 de julio de 1990; aceptado el 7 de mayo de 1991)

Resumen. Se presenta un trabajo con estudiantes de preparatoria acerca de sus concepciones sobre el calor y la temperatura. Los resultados se comparan con un trabajo previo sobre el mismo tema realizado con niños.

PACS: 01.40.-d; 1.40.Gm; 1.55.+b

Introducción

Aunque los antecedentes de los estudios sobre esquemas alternativos o teorías del sentido común se remontan a los trabajos de George Kelly desde 1955, el interés por este tipo de trabajos se ha incrementado en los últimos quince años. Gran parte del desarrollo del constructivismo se ha dado dentro de la psicología clínica como una extensión de los trabajos de Kelly [1]. La hipótesis más importante dentro de esta área es el reconocimiento de que todos construimos modelos tentativos para explicar los fenómenos cotidianos, anticiparlos o predecirlos y evaluarlos de acuerdo con criterios personales. La construcción de estas teorías personales se da en un proceso de prueba y error basados en la experiencia cotidiana y con la asimilación del uso del lenguaje tanto en la interacción social como a través de los medios de comunicación [2]. Estos modelos, al estar íntimamente ligados a la experiencia de los sujetos, tienen tal arraigo que pueden constituir obstáculos serios para la comprensión y aprendizaje de las teorías que pretendemos enseñar durante la educación formal. El objetivo de su estudio es que los maestros conozcamos con mayor precisión, no sólo los errores de los estudiantes, sino los supuestos y estrategias que usan como base en su razonamiento.

Como antecedente a este trabajo, realizamos una investigación con niños de diez años (edad promedio) acerca de los conceptos de calor y temperatura con la intención de conocer las formas en que éstos explican los fenómenos calorimétricos y la evolución de sus conceptos a partir de experiencias de laboratorio [3]. Las principales conclusiones derivadas del trabajo con infantes pueden ser resumidas de la siguiente manera:

1. La percepción de la temperatura a través del tacto induce a una clasificación

de los objetos como si éstos tuvieran una temperatura propia y en este sentido representa, en principio, un obstáculo para la comprensión del equilibrio termodinámico.

2. La mayoría tenían poca familiaridad con el termómetro y desconocían la constancia de la temperatura corporal.
3. La evolución de las concepciones de los niños a través de las experiencias calorimétricas fue sorprendente, el desarrollo de nociones sobre calor, temperatura, conducción, capacidad calorífica y equilibrio termodinámico pareció llevarse a cabo casi naturalmente. Notamos, sin embargo, que la evolución de las ideas de los niños se dirigió hacia la conservación del calor y hacia la consideración de éste como sustancia, es decir, en la dirección de la teoría del calórico.
4. Encontramos en niños urbanos (aunque no excluye la posibilidad de que exista entre niños rurales) un modelo que refleja la idea de que la sensación de calor es un promedio entre la temperatura ambiente y la corporal: cuando hace calor la temperatura corporal baja y viceversa. Los niños explicaron que para que el cuerpo se mantenga a buena temperatura cuando hace calor, debe compensarlo produciendo frío, y produciendo calor cuando hace frío.

La decisión de ampliar el trabajo a jóvenes de preparatoria, es con la intención de averiguar si la experiencia escolar y cotidiana modificaba sustancialmente sus concepciones acerca del calor y la temperatura.

Metodología

En la investigación que ahora nos ocupa se hizo énfasis en la descripción y explicación de fenómenos cotidianos. Se utilizó como base un cuestionario elaborado originalmente por el grupo de investigación en enseñanza de la física de la Universidad "La Sapienza" de Roma [4]; se realizaron algunas entrevistas preliminares y aplicaciones piloto para incrementar la confiabilidad del reactivo. Finalmente se seleccionó una muestra de 113 estudiantes, 66 hombres y 47 mujeres, de cinco escuelas preparatorias, que cursaban el primer año. Después de la evaluación del cuestionario se realizaron 15 entrevistas para contrastar y profundizar sobre algunos resultados y se realizó un taller de experimentos calorimétricos con las mismas actividades empleadas en el trabajo con niños. La distribución por edad se muestra en la Fig. 1.

El cuestionario utilizado fue el siguiente:

1. En un cuarto a temperatura de 20°C hay, con usted, un gato, una mesa de mármol, un cojín de lana, un perchero de madera y un cuchillo de metal.
 - a) ¿Podría decir si la temperatura de cada objeto, del gato y de usted es menor, mayor o igual que la de la habitación? Explique en cada caso su respuesta.
 - b) Si la temperatura del cuarto se incrementa en 10°C . ¿Qué pasa con la temperatura de los objetos, del gato y de usted?

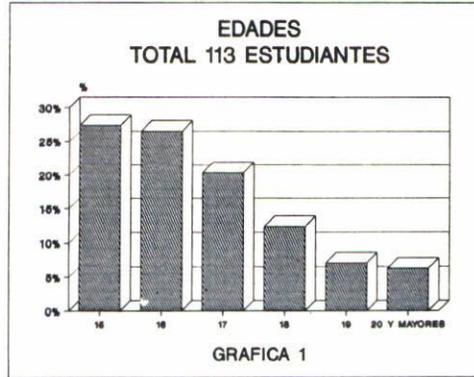


FIGURA 1.

c) Si la temperatura del cuarto disminuye 10°C . ¿Qué pasa con la temperatura de los objetos, del gato y de usted?

2. Usted tiene dos pequeñas mesas iguales, una hecha de madera y la otra de metal. Simultáneamente pone un cubo de hielo en el centro de cada una de ellas. ¿Cuál cubo se derretirá primero?

3. En Morelia, un objeto de metal se siente, al tacto, más frío que uno de madera. ¿Pasará lo mismo en una ciudad africana donde la temperatura ambiente es de 43°C ? ¿Por qué?

4. En una licuadora de cocina se agita un litro de leche por algún tiempo. Su temperatura: ¿Permanecerá constante, aumentará o disminuirá? Explique su respuesta.

5. Después de usar un taladro contra la pared, su temperatura: ¿Ha aumentado, disminuido o permanecido igual? Explique su respuesta.

6. Una olla con agua está puesta sobre un fogón. Como todos sabemos, al cabo de algún tiempo el agua se calentará y comenzará a hervir.

a) Dé una descripción, ya sea con palabras o con una gráfica, del cambio de temperatura del agua al transcurrir el tiempo desde el instante en que la olla es puesta al fuego hasta algún tiempo después de que comienza a hervir, pero antes de la desaparición de toda el agua.

b) Mientras el agua está hirviendo, la temperatura del vapor será: ¿Igual, mayor o menor que la temperatura del agua?

7. Durante la noche, en un frío invierno, la temperatura disminuye desde 5°C a las 6 de la tarde, hasta -7°C a las 5 de la mañana. El agua de una pequeña fuente se congela completamente. De una descripción en palabras o con una gráfica de la variación de la temperatura del agua en ese periodo de tiempo.

8. Se toma un cubo de hielo de un congelador a -8°C y se pone a un vaso de agua a

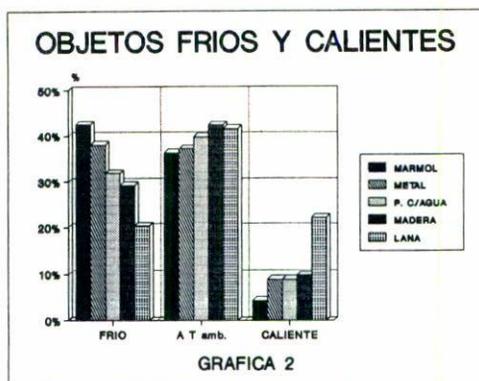


FIGURA 2.

18°C. De una descripción en palabras o con una gráfica de la temperatura del hielo a medida que pasa el tiempo.

Los experimentos realizados durante el taller incluyeron actividades sobre el uso del termómetro, medición de temperatura corporal y de distintos líquidos al calentarse en iguales condiciones, enfriamiento de líquidos con la misma temperatura inicial, y conducción térmica.

Resultados

Un alto porcentaje de la muestra contestó las preguntas pero omitió dar alguna explicación (en las figuras se denota como s/r: sin respuesta), en promedio sólo poco más del 50% ofreció explicaciones.

En general los estudiantes conciben la temperatura de los objetos como una propiedad intrínseca dependiente del material de que estén hechos, aunque mantenga alguna relación con la temperatura ambiente. Así, la mayoría, clasifican los objetos en fríos (siempre con temperatura menor a la ambiente), calientes (siempre con temperatura mayor a la ambiente) y neutros (cuya temperatura es igual a la ambiente). En la Fig. 2 se muestra la clasificación de los objetos de acuerdo a su temperatura respecto a la ambiental, se observa que el mármol y el metal destacan como materiales fríos mientras que la lana es considerada caliente.

Como en el caso del trabajo con niños, existe entre los estudiantes de preparatoria un gran desconocimiento de la constancia de la temperatura corporal; si la temperatura ambiente es de 20°C un 40% afirmó que aquella es mayor, más de una cuarta parte la consideró igual a la ambiente y un 3% la consideró menor (Fig. 3). Sobresale el hecho de que la constancia de ésta es reconocida únicamente por un 13%, y sólo un 4% menciona su valor explícitamente (Fig. 4).

Un 26% asegura que la temperatura de los seres vivos (en el cuestionario el gato y la persona) es proporcional a la temperatura ambiente; un 15% la considera igual

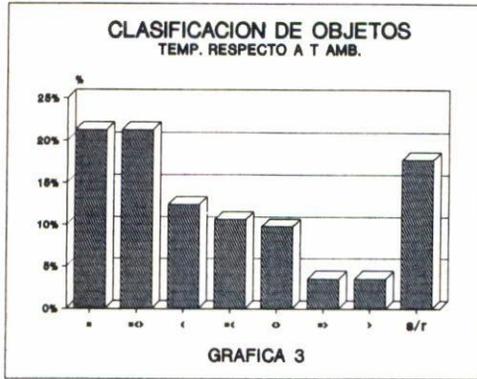


FIGURA 3.

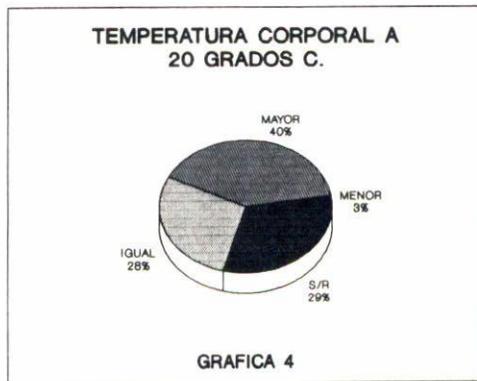


FIGURA 4.

a la ambiente, un 17% menciona solamente que la temperatura de los seres vivos es diferente a la de los objetos inanimados y un 9% cree que la temperatura corporal disminuye cuando aumenta la temperatura ambiente y viceversa; es interesante hacer notar que todas estas explicaciones las encontramos también en niños de ocho años en adelante.

Un 48% asegura que el hielo se derrite primero sobre una mesa de madera que sobre una de metal, lo anterior sólo confirma la idea de que la madera es considerada como un material más caliente que el metal. Un 40% considera que el hielo se derretiría primero sobre el metal, pero sólo un 5% utilizó en la explicación el concepto de conducción.

Un 71% reconoce que el metal no se sentiría más frío que la madera si la temperatura ambiente fuera de 43°C; pero un 24% afirma que la temperatura del metal y la madera aumentan proporcionalmente al incrementarse la temperatura ambiente, de tal forma que el metal siempre se sentirá más frío que la madera.

En cuanto a las preguntas 4 y 5, mientras que prácticamente todos los estudiantes (98%) reconocen que un taladro se calienta al ser usado, en el caso de la leche en la licuadora sólo poco más de la mitad predicen que su temperatura aumenta, 15% dice que no cambia y un 18% dice que se enfría. Las explicaciones dadas por quienes predicen un incremento de temperatura en ambos casos difieren notablemente. Mientras que para el taladro un 55% menciona a la fricción como causa, 16% al movimiento y 9% a la electricidad; para la leche sólo un 9% menciona la fricción, un 29% menciona al movimiento y un 4% a la electricidad. El movimiento es mencionado como causa de una disminución en la temperatura de la leche por un 15%.

En las respuestas relativas al congelamiento y evaporación del agua (preguntas 6 y 7), nadie hizo mención de la constancia de la temperatura durante los cambios de fase. El 15% da explicaciones detalladas del proceso de congelación: 4% en términos de movimiento molecular, 4% en términos de densidades, 2% menciona el intercambio de calor y un 5% menciona el equilibrio termodinámico.

Sobre el cubo de hielo puesto en agua a 18°C (pregunta 8), en ninguna respuesta se hizo referencia al equilibrio termodinámico, todos reconocieron que el hielo se derrite al aumentar su temperatura pero sin mención de la temperatura del agua. La temperatura del vapor (pregunta 6) es considerada mayor que la del agua hirviendo por un 35%, menor por un 31% e igual por un 23%.

En promedio, el 15% dio explicaciones en distintas situaciones apelando al uso equivocado de términos físicos.

Por último, un 20% hizo dibujos en lugar de gráficas en las preguntas 6, 7 y 8; un 3% utilizó gráficas correctamente (de manera consistente con la respuesta escrita) y un 5% empleó gráficas de manera incorrecta.

Las entrevistas realizadas después de la aplicación del cuestionario se realizaron individualmente utilizando preguntas abiertas; los resultados derivados, que se exponen a continuación, son de carácter cualitativo y no se pretende asignarles una significación estadística en el sentido convencional, sino que se presentan como hechos que no podemos generalizar pero hemos comprobado que existen. Adicionalmente, a partir de los resultados del cuestionario, enriquecidas con la información obtenida con las entrevistas, se derivarán algunas posibles conclusiones.

El hecho de que la mayoría de los objetos hayan sido clasificados como fríos y neutros, sugiere la idea de que éstos no son fuentes de calor; durante las entrevistas se mencionó que los objetos (a diferencia de los seres vivos): "no tienen temperatura", haciendo referencia al hecho de que no producen calor; sin embargo, cuando los estudiantes intentan explicar casos concretos como: ¿por qué algunos abrigos son mejores que otros? contestan que algunos abrigos "calientan más", otros estudiantes mencionan las propiedades aislantes pero en términos de frío: "no dejan entrar el frío". Sólo uno de los entrevistados explicó lo anterior utilizando el concepto de calor.

La tercera parte de los entrevistados tenían una referencia más o menos clara de la escala de temperaturas, pero el resto no pudo realizar estimaciones aproximadas de la temperatura ambiente o de la temperatura en días fríos o calurosos. Dos de los entrevistados consideraban que 20°C es la temperatura típica de un día en que

hace mucho calor. Otro par de estudiantes aseguraron que la temperatura del vapor oscilaba entre 24 y 30 grados.

Mientras que el hecho de que a 100°C el agua puede existir como líquido y como vapor fue reconocido por el 40% de los entrevistados, para ninguno era posible que existiera agua líquida a 0°C.

La tendencia a dar explicaciones utilizando "conceptos científicos" se incrementó notablemente durante las entrevistas; los estudiantes, al contar con mejores condiciones para dar a conocer sus ideas, prácticamente todos en algún momento, pretendieron reforzar sus argumentos con frases que involucraban, de manera equivocada, conceptos científicos. La mayoría de los conceptos utilizados fueron de mecánica y con particular frecuencia utilizaron la palabra fuerza con distintos significados. Llamó la atención la ausencia de la energía en las explicaciones; al inquirir sobre ésta, la mayoría de los entrevistados la asociaron al trabajo mecánico y sólo uno mencionó al calor como forma de energía. En las explicaciones, parecía más importante usar un vocabulario de física que la coherencia interna de los modelos; cuando se les hacían explícitas algunas contradicciones no siempre modificaban su modelo sino que lo reexplicaban utilizando otros conceptos físicos.

En cuanto al equilibrio termodinámico, ésta parece ser una información adquirida (por muy pocos) de memoria y totalmente descontextualizada de la cotidianidad; quienes la mencionaron, aseguraron que se trata de un principio físico "ideal" o "teórico"; que cualquier objeto "debería" estar a temperatura ambiente pero, como la mayoría de las leyes físicas, ésta sólo se aplica a situaciones ideales.

Después del taller experimental, hubo avances notables en la familiaridad con la escala de temperatura y sobre los conceptos de conducción térmica y capacidad calorífica. La mayoría podían entender los conceptos de conducción y capacidad calorífica en situaciones aisladas, pero los confundían al explicar lo que ocurre cuando se ponen en contacto dos objetos con temperaturas distintas. Sin embargo, un gran número de estudiantes (6 de los 15) continuaron teniendo dificultades para hacer una distinción adecuada entre calor y temperatura y para predecir el equilibrio termodinámico; entendían el equilibrio como el hecho de que cada objeto llegará a su "propia temperatura", este modelo ha sido también reportado en otros trabajos [5]. En cambio, en el trabajo con niños, casi el 100% era capaz de predecir el equilibrio térmico después del taller; lo anterior corroboró lo que observamos durante los talleres en cuanto a que los esquemas alternativos de los estudiantes de preparatoria están más arraigados que los de los niños.

Los modelos de quienes predecían el equilibrio termodinámico estuvieron íntimamente asociados con la conservación del calor como si se tratara de una sustancia, de igual manera que en los niños, asemejándose al modelo de la teoría del calórico.

Consideraciones finales

El mejor conocimiento de las fuentes que dan lugar a las creencias y/o modelos que utilizan los estudiantes, otorga elementos fundamentales para el diseño de estrategias en la enseñanza [6]. Aun los niños al llegar a la escuela primaria ya están

provistos con algunas ideas que les permiten explicar los fenómenos cotidianos, y según se desprende de este trabajo, estos modelos no sólo no se modifican en el periodo de la primaria a la preparatoria, sino que se arraigan más. La información escolarizada aislada es utilizada por los estudiantes como falso soporte de los modelos que generaron cuando niños; es decir, tienden a justificar sus explicaciones mediante el uso de nuevos conceptos aprendidos de memoria y descontextualizados.

Destaca la importancia de la experiencia sensorial en la explicación de los fenómenos térmicos; la mayoría de las explicaciones dadas por los estudiantes tienen su base en la percepción térmica a través del cuerpo humano pero sin una comprensión adecuada de la manera en que actúa nuestro cuerpo al percibir las temperaturas.

El desconocimiento de la constancia de la temperatura corporal es un problema de información grave, que aunado a la casi nula experiencia con el uso del termómetro y a la ausencia de referentes cotidianos de la temperatura ambiental, explican cabalmente los resultados descritos que impiden un avance conceptual hacia la comprensión de la termodinámica.

Las explicaciones dadas por los estudiantes de preparatoria prácticamente no difieren de las que encontramos en niños. Tomando en cuenta que con muy pocas experiencias acerca de fenómenos calorimétricos encontramos grandes avances en las concepciones infantiles, concluimos que se hace necesario, no sólo integrar la riqueza de actividades experimentales en los temas relacionados con la termodinámica desde la educación elemental, sino otorgar información básica relevante como es el caso de la constancia de la temperatura corporal y en particular dedicar atención a las propiedades térmicas del cuerpo humano como elemento imprescindible para explicar la percepción de temperaturas. De igual forma, sería conveniente integrar en la escuela actividades de "rutina" que familiaricen a los estudiantes con el uso de conceptos relevantes como la temperatura a través, por ejemplo, de la medición diaria de la temperatura ambiente.

Las explicaciones dadas por los preparatorianos pueden ser un reflejo de la manera en que perciben la física (o de la manera en que ésta se enseña): lejos de ser simple debe ser complicada por definición e incluir terminología "científica". Las explicaciones de los estudiantes de preparatoria parecen alejarse de la simplicidad y de la propia fenomenología y se ubican en un contexto que ya no corresponde a las explicaciones del sentido común ni a las teorías científicas. Me parece, sin embargo, que en realidad subsisten los esquemas de sentido común pero son más difíciles de detectar que en los niños porque los estudiantes están más "entrenados" para contestar "lo que el profesor quiere que digan", este hecho por sí mismo hace más difícil la detección de sus modelos y su modificación.

Por supuesto que los modelos encontrados tienen alguna relación con la posibilidad de que exista flujo de calor de un cuerpo frío hacia uno caliente; aunque este trabajo no aborda el asunto, sería conveniente tratarlo en un trabajo posterior. Otro hecho interesante es la poca relación que aparece en los modelos entre el calor y la energía.

Sobre los problemas del aprendizaje de la irreversibilidad del flujo de calor y la diferenciación entre calor y temperatura, existen diversas opiniones; algunos autores

proponen sustituir la palabra calor por el verbo calentar para hacer explícita la referencia a un proceso [7]; otros sólo sugieren mayor énfasis en la diferencia entre estado y proceso [8], y otra corriente propone aprovechar los esquemas alternativos estudiantiles identificando lo que los estudiantes llaman calor con entropía [9]; pero dada la escasa experiencia experimental no es posible tomar una decisión definitiva.

Finalmente, en cuanto a la aparición, tanto en niños como en los estudiantes de preparatoria, de modelos del tipo de la teoría del calórico, una aproximación para evitar un desarrollo indeseable de este tipo de esquemas es recurrir a la historia de la termodinámica y tomar en cuenta algunos de los experimentos o conceptos clave que trajeron como consecuencia el abandono del calórico, por ejemplo, los experimentos de Rumford y Davy sobre el calentamiento de bolas de cañón o el derretimiento de hielo por fricción, o el estudio de la radiación y la aceptación del modelo ondulatorio de la luz [10]. Ambos casos pudieran integrarse como referentes fenomenológicos para los estudiantes y al mismo tiempo serles útiles para evitar la teoría del calórico y también para ayudar a presentar una visión más integral de la termodinámica desde el inicio de los cursos de física general.

Referencias

1. Pope M. y Watts M., "Constructivist goggles; implications for process in teaching and learning physics", *Eur. J. Phys.* **9** (1988) 101-109.
2. Osborne R., "Children Dynamics", *The Physics Teacher*, Nov. 1984, pp. 504-508.
3. Jara G.S. et al. "Descubriendo las ideas de los niños, Calor y Temperatura", *Rev. Mex. Fís.* **37** (1991) 124-125.
4. Sciarreta M.R. et al. "On the Thermal Properties of Materials. Common Sense Knowledge of Italian Students and Teachers", documento fotocopiado, Dipartimento di Fisica, Università "La Sapienza", Roma, Italia, 1988.
5. Duit R. y Kesidou S., "Students' Understanding of Basic Ideas of the Second Law of Thermodynamics" *19th Conference of the Australian Science Education Research Association*, Sidney, Julio 1988.
6. Hills, G.L., "Students' Untutored Beliefs about Natural Phenomena: Primitive Science or Commonsense?", *Science Education* **2** (1989) 155-186.
7. Summers M.K., "Teaching heat —an analysis of misconceptions", *SSR*, Junio 1983; 670-676.
8. Mak S. y Young K., "Misconceptions in the teaching of heat", *HKASME*, documento fotocopiado sin fecha, pp. 78-87.
9. Fuchs H.U., "Entropy in the Teaching of Introductory Thermodynamics", *Am. J. of Phys.* (1987) 215-219.
10. Brush S.G., *The Kind of Motion We Call Heat. A History of the Kinetic Theory of Gases in the 19th Century*, Elsevier Science Publishers, 1986, p. 769.

Abstract. The alternative conceptions of high school students about heat and temperature are presented. These models are compared with those obtained in a previous work done with children.