

Identificación de errores conceptuales comunes en estudiantes de Termodinámica Básica

F. Domínguez Muñoz^{(1,*), F. Serrano Casares^{(1), E. Rodríguez García^{(1), J. Guerra Macho^{(2), I. Lillo Bravo^{(2), A. Carrillo Andrés^{(1), J.M. Cejudo López^{(1), F. Fernández Hernández⁽¹⁾}}}}}}}

(1) ETS Ingenieros Industriales Málaga – Campus de Excelencia Internacional Andalucía Tech. Calle Doctor Ortiz Ramos s/n, 29071 Málaga, España. (2) Escuela Superior de Ingenieros de Sevilla – Campus de Excelencia Internacional Andalucía Tech. Avenida de los Descubrimientos s/n, 41092 Sevilla, España. (*) Contacto: fdominguezm@uma.es

Resumen: Se investigan los preconceptos sobre calor y temperatura que tienen los alumnos de ingeniería antes de recibir formación en Termodinámica. El diagnóstico se realiza mediante un cuestionario, pasado a principios de curso. En esta comunicación se resumen los resultados de una prueba realizada con 206 estudiantes. Se cuantifica la frecuencia de diferentes tipos de error conceptual.

Palabras clave: Errores conceptuales, Termodinámica, Calor, Temperatura

1. Introducción

La Termodinámica es una disciplina rica en conceptos abstractos, cuya comprensión suele plantear numerosas dificultades a los estudiantes. En buena medida, estas dificultades son las mismas que encontraron los científicos en los siglos XVIII y XIX al estudiar los problemas térmicos. Conceptos como el calor, la temperatura, la transferencia de energía térmica o los cambios de fase no tuvieron una explicación completamente satisfactoria hasta mediados del siglo XIX, cuando se abandonó la Teoría del Calórico en favor de la Teoría Cinética.

Aunque desechadas por la ciencia, las antiguas interpretaciones de los fenómenos térmicos son relevantes para la docencia, ya que son más cercanas a las ideas intuitivas que puede tener una persona antes de recibir formación científica. El objetivo de la formación es reemplazar las concepciones intuitivas que sean erróneas por otras científicamente aceptadas. Sin embargo, la enseñanza tradicional no suele considerar las primeras cuando construye las segundas: el estudiante es expuesto a los conceptos y a todo el aparato matemático de la Termodinámica sin considerar previamente cuáles son sus intuiciones sobre los fenómenos estudiados. Esto supone un problema por dos motivos. En primer lugar, diversos estudios han puesto de manifiesto que las ideas comunes sobre

movimiento (Hestenes 1992) o calor y temperatura (Yeo 2001) son en gran medida incompatibles con los modelos científicamente aceptados. En segundo lugar, esos estudios han demostrado que la docencia tradicional apenas repara estos errores conceptuales. Por ejemplo, el conocido *Force Concept Inventory*, desarrollado por Hestenes (1992), ha puesto de manifiesto en reiteradas ocasiones que la mayoría de estudiantes no modifican sus ideas sobre el movimiento tras superar un curso de física newtoniana: los modelos mentales no pasan a ser los de Isaac Newton, sino que siguen siendo una “mezcla entre las ideas Aristotélicas y las ideas de ímpetu del siglo XIV” (Bain, 2004). Los alumnos simplemente aprenden un conjunto de fórmulas para resolver problemas, pero sus modelos mentales sobre la realidad física apenas cambian.

En esta comunicación se exploran los preconceptos sobre el calor y la temperatura que tienen los estudiantes de ingeniería antes de recibir formación en Termodinámica. El estudio es parte de un Proyecto de Innovación Educativa financiado por la Universidad de Málaga y titulado “*Reparación de errores conceptuales en Termodinámica, Transferencia de Calor y Mecánica de Fluidos mediante cuestionarios, material audiovisual y actividades participativas*”. En este proyecto participan profesores y alumnos de las Universidades de Málaga y Sevilla, en el contexto del Campus de Excelencia Internacional Andalucía Tech.

2. Metodología

Se ha preparado un cuestionario con 30 preguntas de opción múltiple, que trabajan diferentes errores conceptuales (*el cuestionario está disponible enviando un e-mail al autor de contacto*). Este cuestionario se basa en el publicado por Yeo (2001), con algunas modificaciones y preguntas adicionales. La mayoría de las preguntas exponen situaciones cotidianas y están redactadas en lenguaje común. La idea es intentar que el estudiante responda aplicando sus propias creencias y modelos mentales, en lugar de recordando definiciones o respuestas memorizadas. A modo de ejemplo, a continuación se reproducen dos de las preguntas:

Se extraen cubitos de hielo de un congelador y se sumergen en un vaso de agua. Se remueve la mezcla agua-cubitos y éstos se hacen cada vez más pequeños hasta que se estabilizan a un determinado tamaño. ¿Cuál es la temperatura más probable del agua en ese momento? Seleccione una: (A, respuesta) 0°C, (B) 10°C, (C) 5°C, (D) -10°C

Tras cocer algunos huevos en agua hirviendo, se refrigeran sumergiéndolos en otro recipiente con agua fría. ¿Cuál de estas frases explica mejor el proceso de enfriamiento de los huevos? Seleccione una: (A, respuesta) Se transfiere energía desde los huevos hacia el agua, (B) Los objetos calientes se enfrían de forma natural, (C) Se transfiere temperatura desde los huevos hacia el agua, (D) El frío se mueve desde el agua hasta los huevos.

La primera pregunta indaga en la creencia de que no existe agua líquida a 0°C, y también trata de detectar problemas con el concepto de equilibrio térmico y el posible desconocimiento del valor numérico de la temperatura de congelación del agua. La segunda pregunta trabaja varios errores conceptuales relacionados con el diferente significado de las palabras en los lenguajes común y científico: la idea de que el calor y el frío son cosas diferentes y que fluyen como líquidos, o la idea de que la temperatura puede transferirse.

El cuestionario se cargó en el Campus Virtual de la Universidad de Málaga (Moodle), y se pasó a un total de 206 alumnos en cinco asignaturas de Grados de Ingeniería en las Universidades de Málaga y Sevilla. La prueba se realizó a comienzos del primer cuatrimestre del curso 2014/15. Todas las asignaturas comparten el hecho de ser las primeras asignaturas de Termodinámica y/o Transferencia de Calor en sus respectivos planes de estudio, descontando el primer contacto con la disciplina en la asignatura de Física o similar.

3. Resultados y discusión

En la Figura 1 se representa el histograma de calificaciones para el conjunto de los alumnos, y sobre el mismo una caja resumen con varios estadísticos relevantes: media (5,99), desviación típica (1,42), mediana, percentiles del 9%, 25%, 75% y 91%, mínimo y máximo. La mejor calificación la obtuvo un único alumno con 9,35 puntos, mientras que la peor calificación la compartieron tres alumnos con 2,90 puntos. La distribución es aproximadamente normal.

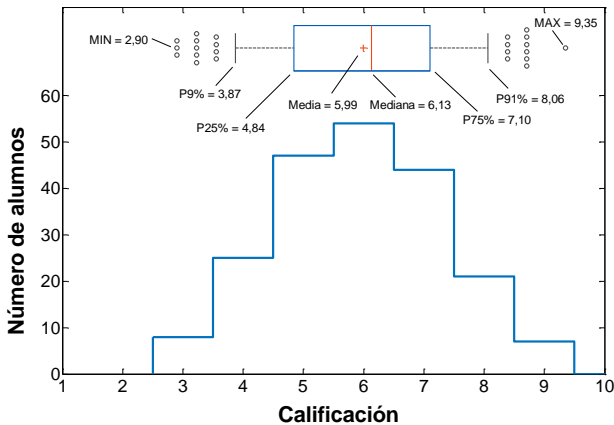


Figura 1. Histograma de calificaciones

Para interpretar más a fondo los resultados, las respuestas erróneas se han relacionado con los errores conceptuales que pueden haberlas causado. La lista de errores conceptuales utilizada se basa en la clasificación propuesta por Yeo (2001).

En las Tablas 2 y 3 se recoge la frecuencia de los errores conceptuales para el conjunto de los alumnos (TODOS), y para subgrupos definidos según la calificación obtenida en el cuestionario: alumnos con calificación BAJA (entre mínimo y percentil 25%), MEDIA (entre percentiles 25% y 75%) y ALTA (entre percentil del 75% y calificación máxima). Los valores reportados en las Tablas 2 y 3 se han calculado dividiendo el número de veces que se ha cometido el error en cuestión por el número máximo de veces que puede cometerse dicho error en el cuestionario.

Tabla 2. Frecuencia de los errores conceptuales sobre calor C y temperatura T. Se han sombreado los valores mayores del 25%

Error conceptual		TODOS	Calif. BAJA	Calif. MEDIA	Calif. ALTA
C1	El calor es una sustancia	5,58%	13,70%	3,32%	1,52%
C3	El calor y el frío son cosas diferentes	6,73%	18,41%	3,79%	0,00%
C4	Calor y temperatura son lo mismo	48,22%	52,56%	50,44%	36,59%
C5	Calor es proporcional a la temperatura	41,63%	52,40%	41,81%	27,44%
C6	Un cuerpo contiene calor	36,08%	44,87%	37,17%	21,95%
T1	Temperatura es "intensidad" del calor	39,81%	51,92%	39,82%	24,39%
T2	El tacto puede determinar la temperatura	39,81%	63,46%	40,71%	7,32%
T3	Percepciones caliente y frío no tienen relación con transferencia de energía	65,05%	53,85%	71,68%	60,98%
T4	"Algo falla" si la temperatura permanece constante en un cambio de fase	37,70%	49,36%	38,35%	21,14%
T6	Un cuerpo frío no contiene calor	10,36%	17,95%	9,44%	3,25%
T7	La temperatura depende del tamaño objeto	11,89%	17,79%	11,95%	4,27%
T8	No hay límite a la menor temperatura que un cuerpo puede alcanzar	9,22%	23,08%	6,19%	0,00%
T9	La temperatura puede sumarse, restarse, promediarse, etc. directamente	65,05%	80,77%	63,72%	48,78%
T10	Alta presión implica alta temperatura	25,24%	25,00%	30,09%	12,20%
T11	La temperatura de una superficie húmeda es menor	20,39%	28,85%	21,24%	7,32%
T12	Desconoce mínima temperatura posible (0 K)	2,43%	3,85%	2,65%	0,00%

Los resultados obtenidos facilitan al profesor un diagnóstico rápido del punto de partida de los estudiantes, y permiten orientar la docencia para reparar esos errores. En la Tabla 2 se observa la prevalencia de la confusión entre los conceptos de calor y temperatura (errores C4, C5, T3), algo normal porque en el lenguaje cotidiano esos términos son intercambiables. Otro error muy común es tratar la temperatura como una propiedad extensiva (error T9). En el bloque de transferencia de calor y propiedades térmicas (Tabla 3), se detecta una comprensión deficiente de los procesos de cambio de fase, nótese por ejemplo los errores TC1, PP4, PP5 y PP7. Sorprende la frecuencia del error conceptual PP10 en los alumnos con menor calificación. También destacan los problemas con el concepto de equilibrio térmico (TC6), que probablemente generen dificultades posteriores para comprender correctamente los balances de energía.

Tabla 3. Frecuencia de los errores conceptuales sobre transferencia de calor TC y propiedades térmicas PP. Se han sombreado los valores mayores del 25%

Error conceptual		TODOS	Calif. BAJA	Calif. MEDIA	Calif. ALTA
TC1	Calentar una sustancia siempre aumenta su temperatura	29,61%	40,38%	28,02%	20,33%
TC2	El calor sólo viaja hacia arriba / el frío sólo viaja hacia abajo	29,13%	53,85%	26,55%	4,88%
TC3	El calor sube / no sube / baja / no baja	29,13%	53,85%	26,55%	4,88%
TC4	Calor y frío fluyen como líquidos	5,34%	12,74%	3,76%	0,30%
TC5	La temperatura puede ser transferida	23,46%	28,85%	23,30%	17,07%
TC6	Problemas con el concepto de equilibrio térmico	36,89%	56,59%	34,96%	17,25%
TC7	Los objetos calientes/fríos se enfrían/calientan de manera natural	16,02%	34,62%	12,39%	2,44%
TC8	El calor fluye a través de conductores haciéndolos parecer calientes	22,82%	44,23%	20,35%	2,44%
PP1	La temperatura es una propiedad de un determinado material u objeto	41,75%	68,27%	40,49%	11,59%
PP2	Los metales tiene la habilidad de atraer, mantener, intensificar o absorber el frío y el calor	22,57%	37,50%	22,57%	3,66%
PP3	Diferentes materiales mantienen la misma cantidad de calor	21,84%	25,00%	23,89%	12,20%
PP4	El punto de ebullición del agua es 100°C (únicamente)	55,83%	75,00%	53,54%	37,80%
PP5	El hielo está a 0°C (únicamente)	26,70%	42,31%	29,20%	0,00%
PP6	El agua líquida no puede estar a 0°C	15,90%	29,81%	14,60%	1,83%
PP7	El vapor está a más de 100°C	39,81%	43,27%	38,05%	40,24%
PP8	Materiales como la lana tienen la capacidad de calentar objetos	34,63%	51,28%	31,86%	21,14%
PP9	Algunos materiales son “difíciles” de calentar	27,18%	51,92%	22,12%	9,76%
PP10	Las burbujas del agua hirviendo contienen aire, oxígeno o vacío	23,79%	32,69%	27,43%	2,44%
PP11	Desconoce o no aplica temp. de ebullición del agua a 1 atm	4,37%	3,85%	5,31%	2,44%
PP12	Desconoce o no aplica temp. de congelación del agua	2,02%	1,28%	1,03%	5,69%

Referencias bibliográficas

Bain, K. (2004). *What the Best College Teachers Do*. Harvard University Press.

Hestenes D. et al. (1992). Force Concept Inventory. *The Physics Teacher*, 30, 141–158.

Yeo S. et al. (2001). Introductory Thermal Concept Evaluation: Assessing Student’s Understanding. *The Physics Teacher*, 39, 496–504.

Agradecimiento

Los autores quieren agradecer a la Universidad de Málaga. Campus de Excelencia Internacional Andalucía Tech la ayuda recibida como Proyecto de Innovación Educativa (PIE_13125).