

Once semestres de aplicación del cuestionario de Moreira-Axt, a estudiantes de termodinámica de la carrera de física

Marco Antonio Martínez Negrete
Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México
04510 México, D.F., Mexico

Recibido el 14 de enero de 1998; aceptado el 27 de abril de 1998

El cuestionario sobre termodinámica de M.A. Moreira y R. Axt se ha aplicado durante once semestres en un curso de termodinámica de la carrera de Física de la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional Autónoma de México, como un instrumento de aprendizaje significativo. Entre otros, se obtuvieron los siguientes resultados promediados en los once semestres: 1) solamente hay un 54% de aciertos al inicio del curso; 2) se logra un aumento relativo del 40% en aciertos al final del curso; 3) el porcentaje promedio final de aciertos es casi igual a la calificación del curso por exámenes, lo cual puede explicarse por el énfasis dado en el salón de clase, tanto a la versión científica moderna de los conceptos básicos de la termodinámica, como a los "conceptos alternativos" o "preconceptos" del estudiante.

Descriptores: Termodinámica; aprendizaje significativo

The test on thermodynamics designed by M.A. Moreira and R. Axt has been applied during eleven undergraduated terms on that subject in the Physics Department of the Faculty of Sciences of the National Autonomous University of Mexico, as a tool of the so called meaningful learning. The following are some of the main results obtained, averaged over the eleven terms: 1) only 54% of the scores are correct when the test is applied at the beginning of the term; 2) a relative increment of 40% is obtained as a result of the course in thermodynamics; 3) the final test score and the final score by conceptual ordinary examinations of the course almost coincide. This fact could be due to the emphasis given in the classroom both to the learning of the basic concepts of thermodynamics as to the understanding of the "alternative" or "previous concepts" of the student.

Keywords: Thermodynamics; meaningful learning

PACS: 01.40.Gm

1. Introducción

Dos son, quizá, los factores más importantes que un profesor debe tomar en cuenta en la enseñanza de cualquier materia: por un lado el "estado inicial de conocimiento" y, por otro, el "estado de madurez" que guardan los estudiantes al inicio del curso. Esta apreciación de la importancia del estado inicial de conocimiento del alumno en el proceso de enseñanza-aprendizaje se ve sintetizada paradigmáticamente en la célebre cita de David Ausubel, a propósito del aprendizaje significativo [1]:

"Si tuviese que reducir toda la psicología educacional a un sólo principio, diría lo siguiente: el factor aislado más importante que influencia el aprendizaje, es aquello que el aprendiz ya sabe. Averíguese esto y enséñese de acuerdo a ello."

Más, para poner en práctica esta tesis aparentemente sencilla, se requiere de un conjunto complejo de instrumentos para determinar lo que el estudiante ya sabe, y el descubrimiento de estrategias de enseñanza que garanticen el aprendizaje de la materia.

De entre los métodos exploratorios del estado actual de conocimiento del estudiante destacan: las entrevistas clínicas (del estilo de las que Piaget [2] llevó con niños al grado

de perfección), los mapas conceptuales [3] y los cuestionarios [4]. De este conjunto, son las entrevistas clínicas el procedimiento más preciso, aunque es el que requiere más tiempo de aplicación (por lo que para grupos grandes resulta impracticable).

Los cuestionarios, por su parte, tienen la ventaja de la aplicación masiva, aunque con ellos se pierde la exactitud requerida en un aprendizaje más personalizado, como el significativo.

En el presente reporte se da cuenta de la aplicación de un cuestionario sobre termodinámica, diseñado por Moreira y Axt en Brasil, el cual fue experimentado durante once semestres en un curso de licenciatura de tal asignatura (véase el Apéndice 1).

2. El aprendizaje significativo, en breve

Enseñar para que un estudiante aprenda significativamente equivale a poner en práctica la tesis de Ausubel del capítulo anterior. El conocimiento nuevo lo realiza significativamente el estudiante por la acción de antecedentes previos, que precisamente dan significado a la nueva información que le llega. Los antecedentes preexistentes pueden ser los que el individuo tiene de manera natural en sus estructuras cognitivas (se les suele llamar "preconceptos", "concepciones al-

ternativas” o “prejuicios”, si acaso no coinciden con la aceptación científica de los mismos) o pueden ser artificialmente contruidos (como el concepto de “fuerza mecánica”, para el aprendizaje posterior de la “fuerza eléctrica”). A los antecedentes conceptuales previos que sirven de “anclaje” para el aprendizaje del nuevo concepto científico se les llama “subsumidores”, en la teoría del aprendizaje significativo. Cuando el preconcepto no se corresponde como antecedente en la construcción del nuevo concepto científico, puede operar como un obstáculo epistemológico (casi en el sentido que le da Bachelard [5] al término).

Identificar los preconceptos es una de las tareas fundamentales para que el aprendizaje pueda plantearse de manera significativa. El cuestionario de Moreira-Axt permite al profesor de termodinámica darse cuenta de la existencia de los preconceptos de los alumnos en temperatura, energía interna, calor y trabajo, aunque sin identificarlos con precisión. Pero una vez detectados, el profesor podrá modular el énfasis teórico y/o experimental a dar sobre las concepciones modernas de tales conceptos, tal y como se les acepta hoy por la comunidad de científicos.

El cuestionario detecta el porcentaje de estudiantes que inicialmente cuentan con concepciones compatibles con una idea “sustancialista” de calor, o que confunden las propiedades de la energía interna, el calor y la temperatura. Como la detección de preconceptos no es individual, sino grupal, el aprendizaje significativo se realiza con las limitaciones derivadas de una educación no personalizada.

Por otra parte, el aprendizaje también depende del “grado de madurez intelectual” del estudiante, lo que remite al problema de su determinación. Pero, de acuerdo con la clasificación del desarrollo de las estructuras intelectuales de Piaget [2], esto no representa problema alguno en la enseñanza de estudiantes al nivel de licenciatura, pues a su edad ya han alcanzado hace tiempo la capacidad del pensamiento formal.

3. El cuestionario Moreira-Axt para termodinámica

Como ejemplo del contenido temático del cuestionario se puede ver que las preguntas 1 a 4 están orientadas a descubrir si el estudiante piensa que el calor es una propiedad o una energía contenida en un cuerpo. Otras, como las 5, 7, 8, 9 y 10 se dirigen a dilucidar si el alumno confunde temperatura con calor, o a probar si la relación de equilibrio térmico consiste o no en la igualdad de temperaturas o si, por lo contrario, los sistemas se pueden clasificar en “fríos” o en “calientes”, aunque estén en equilibrio térmico.

Un curso de termodinámica en principio está dedicado a que el estudiante aprenda que la temperatura es una propiedad intrínseca, objetiva e intensiva, de los sistemas termodinámicos; que la igualdad de temperaturas entre varios sistemas es una condición necesaria y suficiente para su equilibrio, cuando tales sistemas se ponen en contacto a través de paredes diatérmicas [6], y a que se percate de que el calor no

TABLA I. Aciertos promedio del cuestionario Moreira-Axt, al inicio (C_{MA}^i) y al final del curso (C_{MA}^f), incremento porcentual y comparación con la calificación final del curso por exámenes (C^f). (Los subíndices 7 se refieren a los promedios calculados sobre los siete semestres para los que hay datos completos).

Semestre	C_{MA}^i	C_{MA}^f	ΔC_{MA}	$\left(\frac{\Delta C_{MA}}{C_{MA}^i}\right) \times 100$	C^f
93-1	55	—	—	—	74
93-2	46	71	25	54	76
94-1	53	—	—	—	56
94-2	51	74	23	45	75
95-1	57	64	7	12	85
95-2	65	—	—	—	67
96-1	59	77	18	31	76
96-2	54	—	—	—	61
97-1	48	67	19	40	79
97-2	54	74	20	37	75
98-1	52	81	29	56	79
Promedios	54	73	19	35	73
	52 ₇	73 ₇	21 ₇	40 ₇	78 ₇

es una variable de estado de los cuerpos (como sí lo es la energía interna), sino energía en tránsito de un cuerpo a otro, en virtud de una diferencia de temperatura entre ellos [7]. Y así sucesivamente con los demás tópicos fundamentales de la termodinámica.

Constituye un buen ejercicio para el lector identificar las “concepciones alternativas” a los conceptos científicos, que el respondiente puede revelar en cada pregunta del cuestionario.

4. Resultados y conclusiones de la aplicación del cuestionario Moreira-Axt en un curso de termodinámica de licenciatura

Podría pensarse que los estudiantes que inician un curso de termodinámica a nivel de licenciatura deberían tener un porcentaje aprobatorio del cuestionario, pues normalmente cursan varias materias anteriores que incluyen tal temática. Sin embargo, su aplicación durante los últimos once semestres muestra que el porcentaje promedio inicial de aciertos es apenas del 54% (Tabla I), es decir, este porcentaje de alumnos reprobaría de entrada la asignatura.

Al final del curso se vuelve a aplicar el cuestionario y se observa de la tabla que el nuevo porcentaje promedio de aciertos sube hasta el 73%. Se consigue un aumento relativo del 40%. Por otra parte, el porcentaje final de aciertos del cuestionario es casi igual a la calificación final del curso obtenida por el estudiante mediante la aplicación de exámenes conceptuales (dejando fuera las calificaciones de problemas numéricos de tareas, ensayos y trabajos), promediada sobre los once semestres.

Para algunos colegas [8] el salto relativo de un 40% entre la calificación inicial y final de aciertos del cuestionario es muy elevada, de acuerdo con su experiencia en niveles inferiores de enseñanza de la termodinámica. Pero este hecho puede ser explicado si se toma en cuenta que, después de la aplicación inicial del cuestionario, parte de las actividades del curso se orientan explícitamente a que el alumno tome conciencia de sus preconceptos y a ofrecerle aquellos otros conceptos científicos que debiera aprender. El hecho de que las calificaciones finales del cuestionario y de los exámenes casi coincidan, refuerza la afirmación anterior.

En los exámenes, por ejemplo, sobre cada axioma (o "ley") de la termodinámica se hacen preguntas dirigidas a calificar con nota negativa las respuestas acordes con los preconceptos acientíficos. Podría pensarse que de esta manera el estudiante responde "lo que el profesor quiere que responda"; pero el hecho de que no obtengan el 100% de aciertos demuestra que o tienen mala memoria y/o están respondiendo honestamente, sin saber la respuesta científica. Además, al alumno se le aclara que la calificación del cuestionario no influye en la nota final del curso.

Un recurso psicológico útil para que el estudiante logre aprender la concepción científica, moderna y comunitaria del calor, consiste en ponerlo en situaciones en que tenga que confrontar sus preconceptos sustancialistas con la visión moderna. Una manera muy efectiva radica en la elaboración de una tabla donde en la primera columna se ponen varios hechos físicos conocidos (dilatación térmica, dependencia del coeficiente de dilatación térmica con la densidad, ley de Dulong-Petit, constancia de la temperatura en las transiciones de fases, dependencia de las capacidades térmicas con la densidad, etc.) y en dos columnas subsiguientes se ofrecen las explicaciones según la teoría del calórico [9] y la teoría moderna del calor. La confección de la tabla se puede dejar como tarea, para posteriormente ser discutida en clase extensamente.

La visualización de la teoría del calórico, en la "extensión" cientificista de los preconceptos, que relata Brown, puede lograr que el estudiante reconozca y acepte sus concepciones no científicas de temperatura, calor y energía interna. Es posible que de esta manera coexistan ambas concepciones en la mente del alumno, sin conflictos, y que cada una sea usada adecuadamente en las situaciones requeridas. Se supone aquí que el reconocimiento de los preconceptos es un factor, entre otros [10], esencial en la adaptación a la nueva información y, por tanto, en la realización del aprendizaje significativo.

Apéndice 1

El cuestionario Moreira-Axt para termodinámica

El cuestionario consta de 25 preguntas con las respuestas múltiples siguientes: A, si la alternativa I es correcta; B, si la II; C si la III; D si las I y II; E si las I y III; F si las II y III y G si todas son correctas. El alumno puede justificar brevemente su respuesta, en caso de que lo considere necesario.

01. Adjudicamos la existencia de calor:
 - I) a cualquier cuerpo, pues todo cuerpo posee calor.
 - II) sólo a aquellos cuerpos que están "calientes".
 - III) a situaciones en las cuales ocurre, necesariamente, transferencia de energía.
02. Para que se pueda hablar de calor:
 - I) es suficiente un solo sistema (cuerpo).
 - II) son necesarios, por lo menos, dos sistemas.
 - III) es suficiente un solo sistema, pero éste tiene que estar "caliente".
03. Para que se pueda admitir la existencia de calor debe haber:
 - I) una diferencia de temperaturas.
 - II) una diferencia de masas.
 - III) una diferencia de energías.
04. Calor es:
 - I) energía cinética de las moléculas.
 - II) energía transmitida sólo a causa de una diferencia de temperaturas.
 - III) la energía contenida en un cuerpo.
05. En el interior de una habitación que no haya sido calentada o refrigerada durante varios días:
 - I) la temperatura de los objetos de metal es inferior a la temperatura de los objetos de madera.
 - II) la temperatura de los objetos de metal, de los objetos de madera y de los sarapes y de los demás objetos es la misma.
 - III) ningún objeto tiene temperatura.
06. El agua (a 0°C) que resulta de la fusión de un cubito de hielo (a 0°C) contiene, respecto al hielo:
 - I) más energía.
 - II) menos energía.
 - III) igual cantidad de energía.
07. Se coloca un cubito de hielo a 0°C en un recipiente con agua también a 0°C . En tal caso:
 - I) el agua cede energía por calor al hielo.
 - II) tanto el agua como el hielo están desprovistos de calor porque están a 0°C .
 - III) ninguno de los dos puede ceder energía por calor al otro.

08. Dos cubos metálicos A y B son puestos en contacto. A está más "caliente" que B. Ambos están más "calientes" que el ambiente. La temperatura final de A y B será:
- I) igual a la temperatura ambiente.
 - II) igual a la temperatura inicial de B.
 - III) un promedio entre las temperaturas iniciales de A y B.
09. Dos pequeñas placas A y B del mismo metal e igualmente gruesas se colocan en el interior de un horno, el cual se cierra y se acciona. La masa de A es el doble de la masa de B ($m_A = 2m_B$). Inicialmente las placas y el horno están todos a la misma temperatura. Tiempo después la temperatura de A será:
- I) el doble de la de B.
 - II) la mitad de la de B.
 - III) igual a la de B.
10. Considere dos esferas idénticas, una en un horno caliente y la otra en un refrigerador. ¿Qué diferencia básica hay entre ellas inmediatamente después de sacarlas del horno y del refrigerador respectivamente?
- I) En la cantidad de calor contenida en cada una de ellas.
 - II) En la temperatura de cada una de ellas.
 - III) Una de ellas contiene calor y la otra no.
11. En dos vasos idénticos que contienen la misma cantidad de agua a temperatura ambiente son colocados, respectivamente, un cubito de hielo a 0°C y tres cubitos de hielo a 0°C . ¿En cuál situación el agua se enfría más?
- I) En el vaso donde son colocados tres cubitos de hielo.
 - II) En el vaso donde es colocado un cubito de hielo.
 - III) El agua enfría igualmente en los dos vasos.
12. Dos esferas del mismo material, pero con masas diferentes, se meten durante mucho tiempo en un horno. Al retirarlas del horno se ponen inmediatamente en contacto. En esa situación:
- I) pasa energía por calor de la esfera de mayor masa a la de menor masa.
 - II) pasa energía por calor de la esfera de menor masa a la de mayor masa.
 - III) ninguna de las dos esferas cede energía por calor a la otra.
13. Las mismas dos esferas de la pregunta anterior son ahora dejadas durante mucho tiempo en un refrigerador. En esa situación, al retirarlas e inmediatamente ponerlas en contacto:
- I) ninguna de las dos esferas posee calor debido a su baja temperatura.
 - II) pasa energía por calor de la esfera de mayor masa a la de menor masa.
 - III) ninguna de las esferas puede ceder energía por calor a la otra.
14. ¿Qué es lo que cambia cuando una porción de agua que ya está hirviendo pasa, por ebullición, al estado de vapor?
- I) Su energía interna.
 - II) El calor contenido en ella.
 - III) Su temperatura.
15. Cuando se transporta energía en forma de calor de conducción de una extremidad de una barra metálica a la otra, es más adecuado afirmar que eso ocurre porque:
- I) el calor fluye a través de la barra, casi como si fuera un líquido.
 - II) la transferencia de energía ocurre por los impactos desordenados entre átomos y/o moléculas.
 - III) la energía fluye a través de la barra, pero no se transmite por el transporte de átomos y/o moléculas.
16. La energía interna de un cuerpo está constituida por:
- I) calor.
 - II) energías cinéticas de átomos y/o moléculas.
 - III) energías potenciales de átomos y/o moléculas.
17. Completa la siguiente frase: La elevación de temperatura que percibes cuando frotas tus manos es el resultado de _____. Consecuentemente hay conducción de _____ hacia el interior de las manos. Resulta, en virtud de eso, un aumento de su _____.
- I) trabajo, calor, energía interna.
 - II) calor, energía, temperatura.
 - III) trabajo, temperatura, calor.
18. Se observa que de un cubo sale energía por calor y, sin disponer de ninguna otra información, se puede decir que el cubo posee, respecto al ambiente que le rodea:
- I) temperatura más elevada.
 - II) más energía.
 - III) más calor.

19. Cuando se encuentra a la presión atmosférica el nitrógeno entra en ebullición a -196°C . Un gramo de nitrógeno líquido tiene, comparado con un gramo de vapor de nitrógeno, ambos a la misma temperatura de -196°C :
- más energía.
 - menos energía.
 - igual cantidad de energía.
20. El punto de solidificación del mercurio, a la presión atmosférica, es de -39°C . ¿Qué pasa inmediatamente después de que una cierta cantidad de mercurio líquido (a -39°C) es colocada en nitrógeno líquido (a -196°C)?
- La temperatura del nitrógeno aumenta y la del mercurio disminuye.
 - La temperatura del mercurio disminuye, pero la del nitrógeno no se altera.
 - El mercurio comienza a solidificarse y el nitrógeno entra en ebullición, sin cambios en las temperaturas.
21. ¿Qué sucede en un día de temperatura ambiente igual a 21°C , cuando colocamos un termómetro en agua a una temperatura más elevada?
- La temperatura y la energía interna del termómetro aumentan.
 - La temperatura del termómetro aumenta pero su energía interna permanece constante.
 - Ni la temperatura del termómetro ni su energía interna se modifican, sólo la columna del líquido termométrico se dilata.
22. Al observar el calentamiento de iguales cantidades de agua y de otras sustancias en un horno, se constata que el tiempo necesario para elevar en 1°C la temperatura de 1 gramo de agua es bastante mayor que el tiempo necesario para que ocurra lo mismo con las otras sustancias. Esto significa que el agua acumula, respecto a esas sustancias:
- la misma cantidad de energía.
 - más energía.
 - menos energía.
23. Supongamos que una barra de cobre conecta a dos grandes cuerpos a temperaturas T_1 y T_2 , respectivamente, siendo $T_1 > T_2$. Se establece entonces una transferencia de energía por calor a través de la barra, de suerte que ésta se calienta a las temperaturas T'_1 y T'_2 en puntos inmediatamente adyacentes a cada gran cuerpo. ¿Qué es lo que caracteriza a esta situación de conducción de calor?
- $T'_1 = T'_2$
 - $T'_1 > T'_2$
 - $T'_1 < T'_2$
24. Cuando un buen conductor es colocado en contacto con otro cuerpo cuya temperatura es más alta, el conductor transfiere energía:
- sin modificar su temperatura.
 - modificando su temperatura.
 - modificando su energía interna.
25. Objetos de metal y de plástico son puestos en el interior de un refrigerador que se encuentra a -20°C . Después de algunos días se puede afirmar que la temperatura de los objetos de plástico es:
- mayor que la temperatura de los objetos de metal.
 - menor que la temperatura de los objetos de metal.
 - igual a la temperatura de los objetos de metal.
- (Este cuestionario fue modificado para eliminar el lenguaje que convalida las concepciones sustancialistas del calor, y también para formular con precisión algunas preguntas que estaban oscuras, debido a la traducción del portugués al español).

-
- D.P. Ausubel, D. Novack y H. Hanesian, *Psicología Educativa, un punto de vista cognoscitivo*, segunda edición (Trillas, México, 1990), portada.
 - J. Piaget, *Seis estudios de psicología*, (Seix Barral, México, 1975).
 - M.A. Moreira, *Aprendizaje significativo: fundamentación, teoría y estrategias facilitadoras*, (Coordinación de Programas Académicos, UNAM, México, abril de 1995).
 - F. Lang da Silveira, *Validacao de testes de papel y lápis*, en Atas da II Escola Latinoamericana Sobre Pesquisa em Ensino de Física, editado por M.A. Moreira, (Porto Alegre, Instituto de Física da UFRGS, Brasil, 1994) p. 104.
 - G. Bachelard, *La formación del espíritu científico*, (Siglo XXI, Argentina, 1972).
 - M.W. Zemansky, *Heat and thermodynamics*, 5a edición (McGraw-Hill, New York, 1968), p. 6.
 - Ibid*, p. 71.
 - Pilar Segarra, comunicación personal.
 - S.C. Brown, *Am. Jour. Phys.* **18** (1950) 367.
 - M. Cárdenas, S.R. Lozano, *Caderno Catarinense de Ensino de Física* (Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil) **14** (1997) 170.