

LA INNOVACIÓN COMO PROCESO: APLICACIÓN A LA ENSEÑANZA DE TEMAS INTRODUCTORIOS A LA TERMODINÁMICA.

C. Bordogna, M. I. Cotignola y G. Punte*

IMApEC, Departamento de Fisicomatemática, Facultad de Ingeniería, UNLP, Calle 115 y 49, 1900 La Plata, Argentina

y

O. M. Cappannini^{§*},

Grupo de Didáctica de las Ciencias, IPIEC, UNLP, Calle 50 y 115, C.C. 525, y Grupo de Física del Sólido, IFLYSIB (CONICET-UNLP), 1900 La Plata, Argentina.

RESUMEN

El presente trabajo muestra algunos resultados de un primer análisis de las actividades incluidas en una propuesta innovadora sobre temas de Termodinámica. Esta propuesta contempló aspectos conceptuales y metodológicos de temas básicos comprendidos en un curso introductorio. La propuesta incluyó modificaciones no sólo en la presentación de los conceptos sino también en la actividad desarrollada en clase por los alumnos y en la ejercitación posterior. Estuvo enmarcada en un proceso que involucró a dos cátedras de distintos niveles de una misma Facultad y se caracterizó por una realimentación entre la implementación de los cambios y la evaluación del aprendizaje logrado. El análisis de una evaluación sistemática de la incorporación de conceptos, tales como energía, trabajo y calor, mostró, junto a una mejor incorporación y persistencia en el tiempo de los conceptos indagados, la necesidad de un cuidadoso diseño de los instrumentos de evaluación.

Abstract

Some of the results obtained through the analysis of activities included in an innovative proposal on the teaching of thermodynamics at an introductory level are shown. This proposal dealt with conceptual and methodological aspects about basic concepts and included changes in the way these concepts were introduced and in-classroom student activities. The innovative process, involving two courses of different level which belong to the same School, was characterized by a constant feedback between implementation of changes and evaluation of student achievement. The systematic assessment done through testing of concepts such as energy, work and heat has shown not only a better incorporation and permanence of the inquired concepts but also suggests the need of careful survey design.

* Departamento de Física, Facultad de Ciencias Exactas, UNLP, (punte@ayelen.fisica.unlp.edu.ar).

§ Taller de Enseñanza de Física, Departamento de Física, Facultad de Ciencias Exactas, UNLP, (osvaldo@iflysib.unlp.edu.ar).

INTRODUCCIÓN.

Uno de los objetivos fundamentales de la investigación educativa es contribuir a mejorar la labor de docentes y alumnos realizamos en las aulas.

Desde un marco constructivista, se considera al que aprende como una parte activa en el proceso de construcción de significados en situaciones nuevas a partir de sus conocimientos previos (Ausubel, 1978). Este proceso de construir significados implica generar relaciones entre la nueva información y los conocimientos ya existentes. Si bien el proceso de aprendizaje se basa en una construcción cognitiva personal es posible que el docente intervenga, a través del desarrollo de actividades apropiadas, para facilitar y guiar dicho aprendizaje (Gil Pérez, 1991). Para que esto pueda realizarse satisfactoriamente es imprescindible que el docente pueda establecer claramente cuáles son las dificultades existentes o cuál ha sido la evolución del proceso de aprendizaje. Con relación a lo antedicho varios investigadores han abordado la problemática asociada al aprendizaje de la Termodinámica (Pozo et al, 1991; Raviolo, 1996; Martínez et al, 1997; Domínguez Castiñeiras et al, 1998). Ellos han adjudicado las trabas detectadas en los alumnos al analizar fenómenos térmicos a una comprensión inadecuada, entre otros aspectos, de la discontinuidad de la materia y de herramientas conceptuales básicas como las incluidas en el Primer Principio de la Termodinámica.

En este contexto y como parte de la labor de reflexión y análisis sobre problemas en el aprendizaje que se viene desarrollando en la Cátedra de Física I (FI) de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de La Plata (UNLP) (Bordogna et al, 1994), se hizo un seguimiento del proceso de innovaciones en las estrategias didácticas utilizadas, a través de un análisis del aprendizaje de conceptos básicos de Termodinámica.

De esta tarea fue surgiendo la necesidad de introducir diversas modificaciones referidas al desarrollo de los contenidos conceptuales y procedimentales correspondientes a dicho tema. La implementación de las mismas ha dado lugar a un proceso de cambios sucesivos cuya dinámica y evaluación se describen en el presente trabajo.

LOS PRIMEROS PASOS DEL PROCESO

Cabe preguntarse: ¿puede un proceso de sucesivos cambios curriculares y metodológicos en un curso universitario ayudar a lograr una mejor incorporación de conceptos?. Quizá podríamos acordar una respuesta afirmativa a esta pregunta. Pero inmediatamente surgirán otras frente a las cuales el acuerdo puede no ser tan fácil: ¿cuál es la manera de lograrlo?, ¿cuán seguros podemos estar respecto de los resultados obtenidos?.

Consideramos que no existe una receta que logre resolver estas cuestiones a partir de algún cambio curricular particular o de la imposición de alguna metodología exclusiva de clase. Esto implica que, una vez detectado él o los problemas, se debe desarrollar un proceso constante de cambios realimentado a través del análisis cuidadoso de los resultados de la evaluación apropiada de las metas alcanzadas.(Coll, 1991; Petrucci y Cordero, 1994; Black, 1998).

La materia Física I (FI) abarca mecánica de: la partícula, los sistema de partículas, el cuerpo rígido, los cuerpos elásticos y los fluidos, además de abordar temas básicos de Termodinámica.

Para entender cuáles fueron y cómo se realizaron las sucesivas modificaciones en los temas básicos de Termodinámica debe tenerse presente que, inicialmente, esta parte de la materia estaba estructurada según el orden que aparece en la literatura tradicional (ver Anexo 1). La presentación de las primeras nociones se introducía desde un marco fenomenológico. Así los alumnos eran presentados a una explicación para cada hecho específico (termometría, calorimetría, dilatación, etc.) partiendo de características observables del problema y originando una visión parcial circunscripta a cada situación. Esta modalidad rompía con el esquema de razonamiento formal que los alumnos habían adquirido durante el estudio de la mecánica newtoniana, es decir, la modelización de objetos, como partículas y sistemas de partículas en sus diferentes variantes, y el análisis de situaciones a partir de un único esquema teórico.

La primera innovación introducida en el curso estuvo orientada a enlazar los conocimientos adquiridos previamente, con los nuevos conceptos de *calor*, *temperatura* y *energía interna*. Para ello se comenzó modelizando la materia como un *sistema de partículas*. El teorema de trabajo y energía aplicado a dicho modelo permitió definir la energía interna y adicionar un nuevo proceso de transferencia de energía llamado calor. (Pozo et al, 1991; Michinel, 1994) (ver Anexo 2). Si bien existe el problema de la irreductibilidad de la Termodinámica a términos mecánicos, se consideró que mantener un equilibrio entre los enfoques fenomenológico y formalista permitiría al alumno mantener una coherencia en el tratamiento de los temas del curso. El modelo mecanicista se planteó así como subsumidor para el anclaje de los nuevos conceptos (Mallinckrodt et al, 1991; Leff et al, 1992; Alonso et al, 1995).

Las modificaciones planteadas durante esta etapa (período 1991-1992) se circunscribieron al dictado de la teoría sin alterar, en ningún momento, las actividades prácticas de los alumnos.

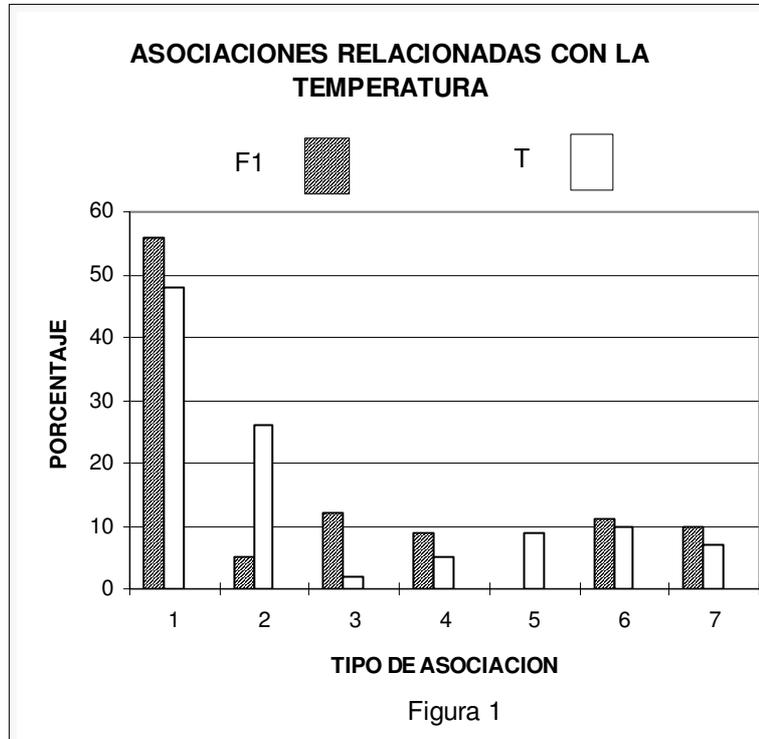
En la evaluación de estos primeros cambios, realizada a fines de 1992 y de la que participaron las cátedras de (FI) y Termodinámica (T) (ésta última, materia de tercer año de la carrera), se solicitó a los estudiantes la explicitación (con sus propias palabras) de los conceptos *calor* y *temperatura*. Esta prueba se presentó a alumnos (del orden de ciento cincuenta) que comenzaban el curso de (T) y a un grupo de aproximadamente doscientos estudiantes que iniciaba su curso de (FI).

El carácter abierto de las preguntas dio lugar a respuestas espontáneas. La diversidad de las mismas dificultó en principio su análisis, por lo que se optó por reunir todas aquellas que contuvieran una misma idea, clasificándolas de acuerdo a las siguientes asociaciones:

1. Temperatura-medida (por ejemplo, “*medida del calor de un cuerpo*”).
2. Temperatura-estado (por ejemplo, “*estado térmico de los cuerpos*”).
3. Temperatura-estructura interna (por ejemplo, “*agitación molecular*”).
4. Temperatura-propiedad de la materia (por ejemplo, “*capacidad de un cuerpo de adquirir calor*”).
5. Temperatura-calor (por ejemplo, “*es una manifestación del calor de un cuerpo*”).
6. Respuestas no clasificables.

7. No responden.

En las gráficas 1 y 2 se muestran los resultados obtenidos. La gráfica 1 muestra los resultados obtenidos acerca del concepto *temperatura*:



Gráfica 1 Respuestas referidas al concepto temperatura. (FI) indica respuestas previas al comienzo del curso y (T) corresponde a respuestas posteriores (2 años) a su aprobación. Nótese que no se encontró la asociación 5 en (FI).

La asociación entre temperatura y medida (respuesta 1) registra los porcentajes más altos (56 % para FI y 48 % para T), lo cual se interpretó como resultado de la introducción de las escalas termométricas, en la mayor parte de la bibliografía de uso habitual, al comienzo del estudio de los fenómenos térmicos.

Por otra parte se observan resultados no esperados en las asociaciones entre temperatura y estado térmico (no vinculado a energía interna, respuesta 2) y entre temperatura y calor, donde calor está utilizado como sinónimo de energía interna (respuesta 5). En ambos casos el porcentaje en (FI) resulta menor que en (T). En particular, el análisis de las repuestas muestra que en (FI) no hubo asociación temperatura-calor mientras que en (T) la asociación alcanzó al 10% de las respuestas, lo cual resulta incongruente con lo esperado. Debe tenerse en cuenta en el análisis que además de la relación directa entre temperatura y calor en la respuesta 5 existe una asociación indirecta en las respuestas 1 y 4.

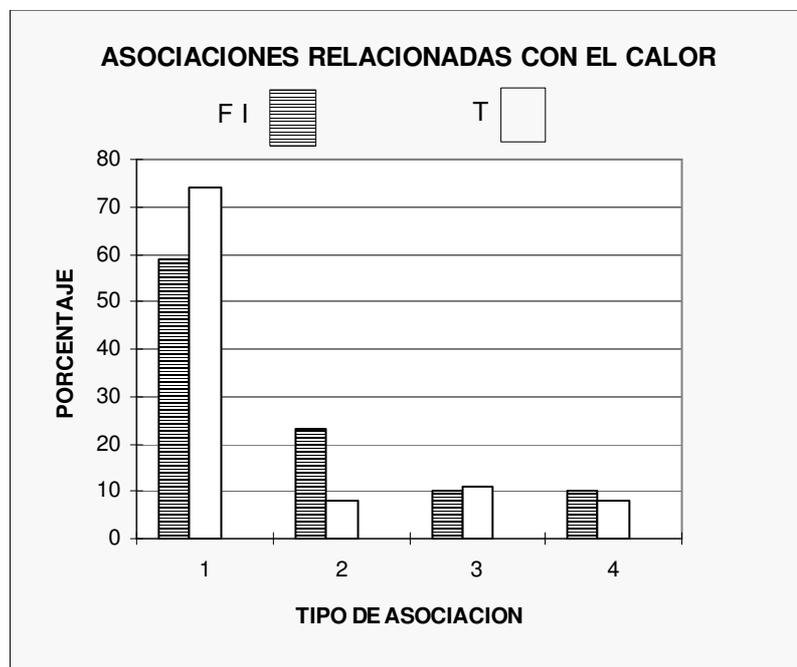
El otro punto encuestado apuntaba a la explicitación del concepto *calor*. Las respuestas obtenidas se clasificaron de acuerdo a las siguientes asociaciones:

1. Calor-energía (por ejemplo, “*el calor es una forma de energía*”).
2. Calor-temperatura (por ejemplo, “*consecuencia que provoca el aumento de temperatura*”).

3. Respuestas no clasificables.

4. No responden.

los resultados se muestran en la gráfica 2:



Gráfica 2. Respuestas referidas al concepto calor. (FI) se refiere a respuestas previas al curso y (T) corresponde a respuestas posteriores (2 años) a su aprobación.

Los mayores porcentajes corresponden a la asociación calor-energía (respuesta 1) donde se obtiene valores de 59% en (FI) y 74% en (T). Nuevamente, los porcentajes obtenidos en (T) resultan mayores que los registrados en (FI).

De acuerdo a los resultados obtenidos a partir de esta evaluación, las innovaciones realizadas no habían producido mejoras significativas sino que, por el contrario, parecían mantenerse esquemas conceptuales previos. Los alumnos “*no habían logrado reemplazar los preconceptos relacionados con los fenómenos térmicos, a pesar de haber aprobado (FI)*” (Bordogna et al, 1994). Resultaba evidente que las modificaciones en la presentación teórica de los conceptos no garantizaban cambios significativos en los alumnos.

UN PASO MÁS EN LAS INNOVACIONES

Las modificaciones indicadas en los párrafos anteriores se habían propuesto acentuar:

- la coherencia y continuidad en la utilización del modelo y
- la jerarquización y reorganización curricular. (ver Anexo 2).

Los resultados de las encuestas propiciaron profundizar el trabajo conjunto de ambas cátedras y replantear la actividad con los alumnos ya que **la participación activa de los mismos en la adquisición de conocimientos no había sido contemplada.**

Para lograr esta participación se decidió modificar las clases prácticas incluyendo actividades de discusión en el curso correspondiente al año 1993. Por ejemplo, para el

tratamiento inicial de los conceptos *temperatura*, *energía interna* y *calor* se partió de la explicitación de esquemas preconceptuales durante una clase-taller organizada en torno de una simulación de un sistema de partículas (Bordogna et al, 1997) (ver Anexo 3)¹. Durante la misma se llevó a los alumnos a asociar el modelo microscópico con la fenomenología descrita por medio de variables macroscópicas. La actividad incluyó, además, la identificación de variables intensivas y extensivas, la noción de estado termodinámico y la descripción de los diferentes procesos de transferencia de energía. Esta actividad se mantuvo a lo largo de los cursos siguientes.

En la jerarquización planteada, el Primer Principio de la Termodinámica se convirtió en el eje tanto en las clases teóricas como prácticas. Se diseñó, entonces, otro instrumento compatible con la necesidad de evaluar la incorporación de los conceptos incluidos en este Principio.

En 1995 se comenzó una investigación utilizando como instrumento de evaluación una encuesta diagnóstica sobre los conceptos de energía, trabajo y calor (Cappannini, 1996). Los resultados de su empleo debían dar información sobre la eficacia de las modificaciones didácticas implementadas además de indagar sobre la permanencia de lo aprendido.

LAS ENCUESTAS.

La encuesta empleada para la evaluación a largo plazo de los conceptos considerados fue diseñada para que los alumnos determinaran la validez de afirmaciones referidas a los conceptos anteriormente citados. Fue utilizada con alumnos que iniciaban el curso (T) durante 1995, 1996 y 1997 a fin de obtener información respecto a las consecuencias de las modificaciones realizadas al curso (FI) en el período 1993-1995.

La población de alumnos de (T) encuestada alcanzó a 261 estudiantes (91 en 1995, 80 en 1996 y 90 en 1997). El mismo instrumento se utilizó con alumnos de tercer año pertenecientes a las carreras de Química y Bioquímica de la Facultad de Ciencias Exactas de la UNLP, que iniciaban el curso de Físicoquímica. En este caso la población encuestada totalizó 256 estudiantes (86 en 1995, 75 en 1996 y 95 en 1997). Estos últimos habían participado de cursos introductorios de Física tradicionales en el período 1993-1995, en los que no se habían producido variaciones curriculares ni de estrategias didácticas, conformando entonces un adecuado grupo control.

El instrumento utilizado, donde hemos indicado a través de los símbolos (Sí) y (No) las respuestas consideradas correctas, se transcribe a continuación:

Estas son afirmaciones respecto de los conceptos de energía, trabajo y calor. Algunas son correctas, otras no. Marca con una cruz en "Sí" si te parecen correctas, en "No" si te parecen incorrectas o en N/C si no sabes qué contestar.

	<i>Energía</i>	<i>Trabajo</i>	<i>Calor</i>
1	Se transforma (Sí)	Es un mecanismo para intercambiar energía.	Es un mecanismo para transferir energía.

¹ Para dicha simulación se utilizó una caja con bolillas, representando un sistema de partículas, que permitía la discusión de los conceptos mencionados en los equipos de alumnos.

		(Sí)	(Sí)
2	Es la capacidad para hacer trabajo (Sí)	Es una forma de energía. (No)	Es una forma de energía. (No)
3	Está involucrada en los procesos de cambio de estado. (Sí)	Su magnitud se expresa en las mismas unidades que la energía. (Sí)	Su magnitud se expresa en las mismas unidades que la energía. (Sí)
4	Es una función de estado. (Sí)	Es una función de estado. (No)	Es una función de estado. (No)
5	La cantidad de energía del Universo es constante. (Sí)	La cantidad de trabajo del Universo es constante. (No)	La cantidad de calor del Universo es constante. (No)
6	Se transmite (Sí)	Se transmite. (No)	Se transmite. (No)

La actividad fue planteada como anónima y se fijó un tiempo máximo de veinte minutos para realizarla. En ningún caso el tiempo de respuesta superó los 10 minutos. Se consideró importante analizar la evolución tanto del porcentaje de respuestas correctas como del porcentaje de “no contesta”. Se evaluó como deseable el detectar un proceso de disminución de dichos porcentajes (un valor elevado de “no contesta” sería indicativo de inseguridad) acompañado por un aumento de respuestas correctas.

RESULTADOS DE LAS ENCUESTAS.

La Tabla I da los porcentajes de respuestas correctas para los conceptos de energía, trabajo y calor en 1995 para las Facultades de Ingeniería (a) (T) y Ciencias Exactas (b) (Físicoquímica). En ambos casos los alumnos encuestados cursaban tercer año de las respectivas carreras.

	Energía		Trabajo		Calor	
	a	b	a	b	a	b
1	100	98	78	62	61	48
2	68	70	65	42	18 [#]	16 [#]
3	88	92	47*	77	47*	81
4	24*	52	33*	73	23*	65
5	63	80	49	69	53	64
6	90	84	55	60	4 [#]	4 [#]

Tabla I. Porcentaje de respuestas correctas para alumnos de: (a) Fac. de Ingeniería y (b) Fac. de Ciencias Exactas. Año 1995.

Un rápido análisis de los resultados presentados en la tabla anterior muestra porcentajes alarmantemente bajos, en alumnos de la Facultad de Ingeniería, para algunos ítem como los correspondientes a las unidades en que se expresan *trabajo* y *calor* (indicados con *, ver afirmación 3, (a)) y al reconocimiento de cuál de estas magnitudes es una función de estado (afirmación 4, (a)). Además, en todos los alumnos encuestados se detectan bajos porcentajes en aquellas respuestas sobre *calor*, indicados con [#], referidas a definiciones

conflictivas (afirmación 2, (a) y (b)) y a uso de lenguaje coloquial en un contexto científico (afirmación 6, (a) y (b)) (Michinel, 1994; Cappannini, 1996).

Durante los años 1996 y 1997 se continuó utilizando el mismo instrumento para analizar la incorporación de los tres conceptos, tanto en el curso (T) de la Facultad de Ingeniería como en el curso de Ciencias Exactas asumido como grupo control. De esta manera se pretendía evaluar la influencia de las modificaciones realizadas en el curso (FI), en la permanencia del aprendizaje (dos años) de los conceptos considerados.

Las figuras 3, 5 y 7 muestran los porcentajes de respuestas correctas para el período 1995-1997 en ambas Facultades, mientras que las figuras 4, 6 y 8 indican porcentajes de “no contesta” para los mismos conceptos durante los tres años considerados. Los valores registrados se han unido mediante líneas como ayuda visual para permitir una rápida comparación.

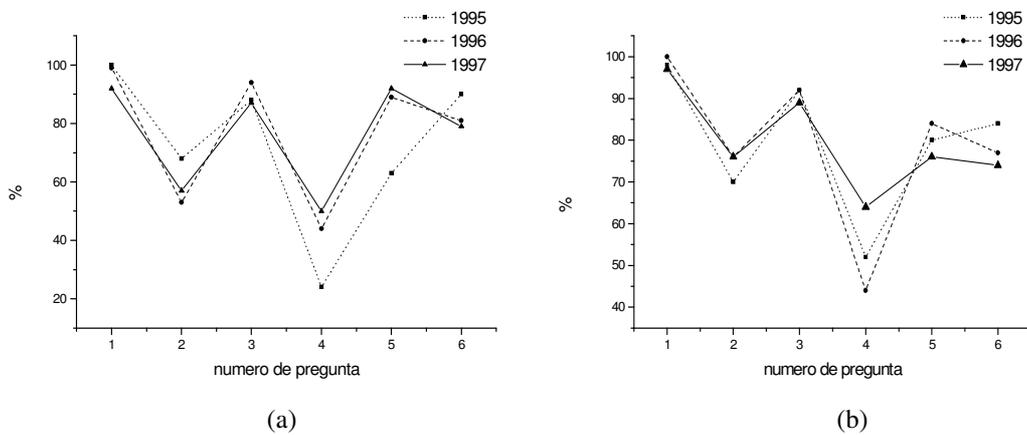


Figura 3. Porcentaje de respuestas correctas para energía. Años 1995, 1996 y 1997. a) Fac. de Ingeniería, UNLP; b) Fac. de Ciencias Exactas, UNLP.

La Figura 3(a) muestra que los avances más importantes en el caso del concepto *energía*, en los alumnos de la Facultad de Ingeniería, se han producido en las afirmaciones 4 y 5. La afirmación 4 se refiere a la condición de función de estado de la energía mientras que la 5 plantea la constancia de la misma para el universo. En el grupo control sólo se perciben cambios importantes con relación a la afirmación 4 (Figura 3(b)).

Coherentemente, la disminución de los porcentajes de “no contesta” (Figura 4 (a)) sugiere un proceso general de aumento de seguridad en el manejo del tema para los alumnos de Ingeniería. Los porcentajes correspondientes al grupo control se mantienen casi constantes (Figura 4 (b)).

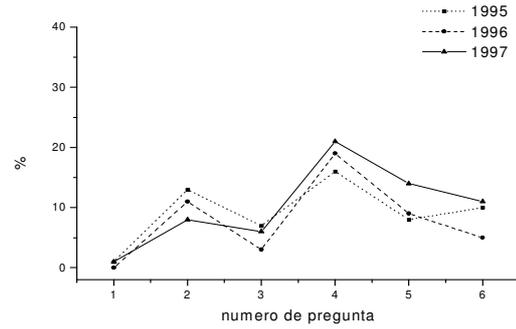
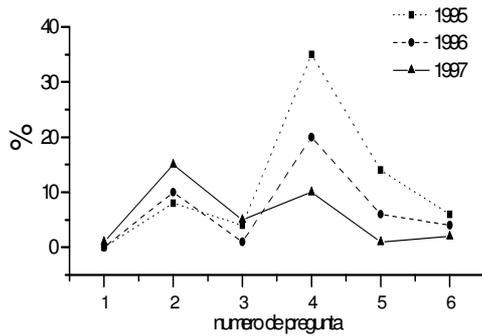


Figura 4. Porcentaje de “no contesta” para energía. Años 1995, 1996 y 1997. (a): Fac. de Ingeniería, UNLP; (b): Fac. de Ciencias Exactas, UNLP.

Con relación al concepto *trabajo* (Figura 5 (a)), se percibe una considerable mejoría en los alumnos de Ingeniería para las afirmaciones 3 a 6. Debe mencionarse que en el grupo control, sólo se advierten modificaciones en la afirmación 6, no habiendo indicios de la existencia de un proceso: el porcentaje de 1996 es mayor que el de 1995 y también que el correspondiente a 1997. En el grupo de Ingeniería al igual que con respecto al concepto *energía*, esto se ve acompañado por un descenso en el porcentaje de “no contesta” (Figura 6 (a)) para las mismas afirmaciones. El comportamiento del grupo control no indica proceso alguno (Figura 6 (b)).

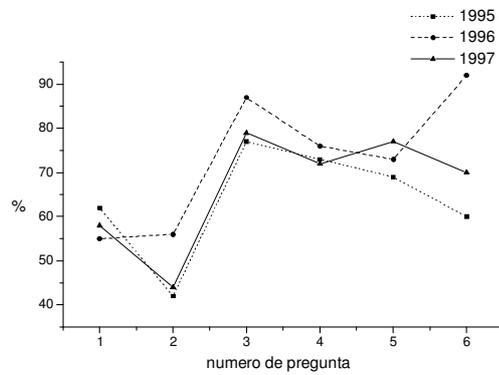
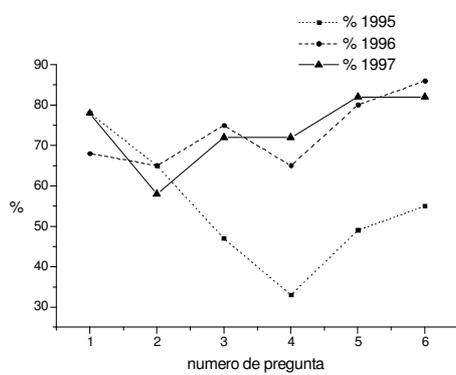


Figura 5. Porcentaje de respuestas correctas para trabajo. Años 1995, 1996 y 1997. a) Fac. de Ingeniería, UNLP. b) Fac. de Ciencias Exactas, UNLP.

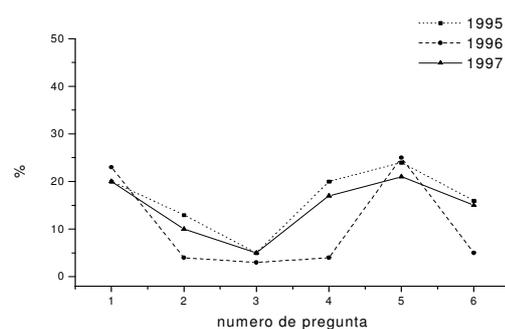
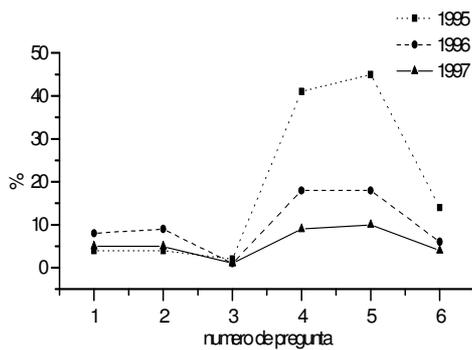


Figura 6. Porcentaje de “no contesta” para trabajo. Años 1995, 1996 y 1997. (a): Fac. de Ingeniería, UNLP.; (b): Fac. de Ciencias Exactas, UNLP.

Con relación al concepto *calor*, las mejoras más notables en las respuestas de los alumnos de la Facultad de Ingeniería corresponden a las afirmaciones 3, 4 y 5 (Figura 7 (a)). En el grupo control, los porcentajes muestran una constancia sorprendente (Figura 7 (b)).

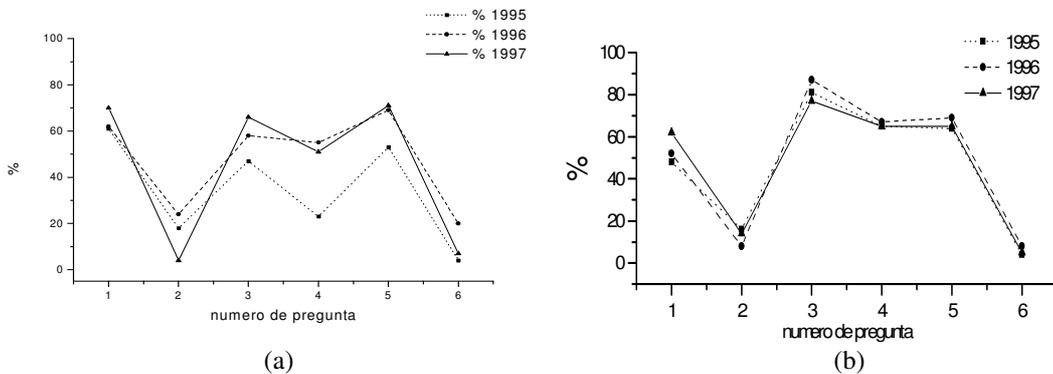


Figura 7. Porcentaje de respuestas correctas para calor. Años 1995, 1996 y 1997. a) Fac. de Ingeniería, UNLP; b) Fac. de Ciencias Exactas, UNLP.

De la misma manera que en las Figuras 4 y 6, los porcentajes de “no contesta” indican un aumento de seguridad en las respuestas que tuvieron mejoras (Figura 8 (a)). Los porcentajes obtenidos en el grupo control no permiten inferir tendencias (Figura 8 (b)).

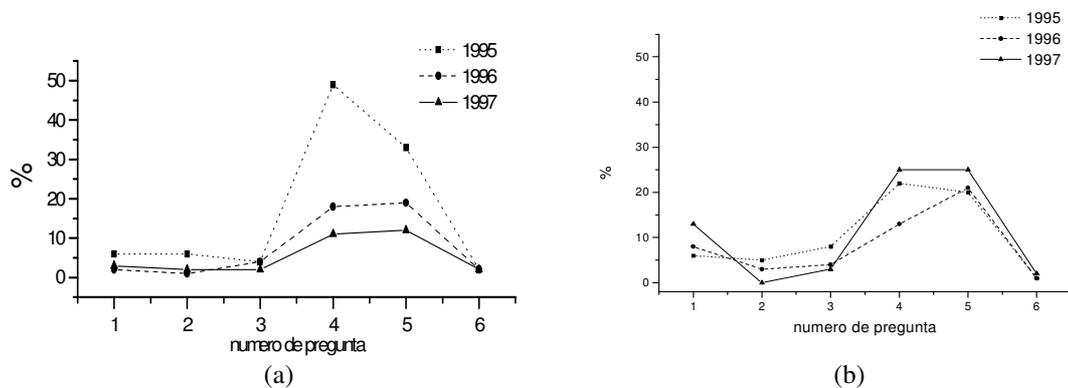


Figura 8. Porcentaje de “no contesta” para calor. Años 1995, 1996 y 1997. (a): Fac. de Ingeniería, UNLP; (b): Fac. de Ciencias Exactas, UNLP.

Debe destacarse el bajo porcentaje de respuestas correctas (4% en 1995, 20% en 1996 y 7% en 1997) y de “no contesta” (2% para cada año, ver Figura 8 (a)) para la afirmación 6 (referida a transmisión de calor). Esto significa que la mayoría de los encuestados están convencidos de una respuesta incorrecta. Los resultados mencionados parecen contradecir la mejoría respecto a la afirmación 4 referida a la condición de función de estado.

Consideramos que esos resultados están relacionadas con lo que ha sido descrito por otros investigadores como “abuso del lenguaje” (Michinel, 1994) tanto en el equipo de docentes como en los mismos alumnos. Esto debe tenerse en cuenta durante el desarrollo del tema y para el diseño de instrumentos de evaluación y control.

Algo similar sucede con las respuestas correctas para la afirmación 2 sobre calor como forma de energía (18% en 1995, 24% en 1996 y 4% en 1997) y de “no contesta” para la

misma afirmación (6% en 1995, 1% en 1996 y 2% en 1997). Creemos que las respuestas están muy influenciadas por la utilización de libros de texto en ediciones anteriores a las actuales.

Los resultados obtenidos para ambas afirmaciones estarían indicando un aprendizaje circunscripto a la incorporación de una definición. No es posible, sin embargo, tener certeza respecto de un conocimiento operativo a partir de los instrumentos de evaluación utilizados.

Resulta llamativa, además, la diferencia sugerida por las respuestas relacionadas con los conceptos *trabajo* y *calor*: mientras el primero “no se transmite y no es una forma de energía”, el segundo sí. Esto indicaría que no ha sido superada la confusión entre calor y energía interna. Los resultados marcan la necesidad de desarrollar nuevas aproximaciones didácticas para mejorar la incorporación correcta de estos conceptos.

Los resultados obtenidos sobre los conceptos energía, trabajo y calor en alumnos de tercer año de la Facultad de Ciencias Exactas de la UNLP (ver Figuras 3 (b), 5 (b) y 7 (b)), muestran mejoras en algunas de las respuestas (casos de afirmaciones 4 de energía y 5 de trabajo) pero no se aprecia un proceso de cambios al evaluar el período considerado. En general se perciben variaciones muy pequeñas (menores a 10%) en la mayor parte de las afirmaciones como en el caso de *calor* (ver Figura 7 (b)). Estos resultados son coherentes con la continuidad, en cuanto a ordenamiento y jerarquización de los contenidos conceptuales, de la propuesta didáctica desarrollada en los cursos seguidos por estos alumnos durante el período considerado.

Cabe resaltar *la coincidencia en lo bajos porcentajes de respuestas correctas respecto de las afirmaciones 2 y 6 sobre calor* en los alumnos de ambas Facultades.

En virtud de lo anterior se ha continuado el proceso de innovaciones al curso (FI) apuntando a una reubicación del tema calorimetría. En el esquema de organización de temas del período 1993-1995 (ver Anexo 2), calorimetría aparece conjuntamente con procesos de cambio fundamentados en la Primera Ley sin la explicitación previa de los modelos de sustancias ideales y reales. Se ha considerado que, de esta manera, se contribuyó a la persistencia de la confusión entre calor y energía interna. La nueva propuesta ubica el tratamiento de calorimetría, en el marco del Primer Principio de la Termodinámica, con posterioridad al estudio de modelos de sustancias reales (junto con dilatación y transferencia de energía en forma de calor, ver Anexo 2). Esta innovación está siendo evaluada y los resultados de la misma se comunicarán a la brevedad.

REFLEXIÓN FINAL.

Los resultados anteriormente expuestos sugieren que un proceso de cambios en las estrategias didácticas, acompañado por una investigación sobre la permanencia en el tiempo de los conceptos incorporados, ha permitido detectar mejoras en el aprendizaje de conceptos básicos de Termodinámica. Este proceso, aún no finalizado, es protagonizado por dos cátedras de la misma Facultad que de común acuerdo han implementado una serie de evaluaciones para permitir su control.

Los instrumentos de evaluación utilizados a tal fin han permitido seguir la evolución de los cambios producidos en distintos grupos de alumnos de un mismo curso durante tres años sucesivos. Estos instrumentos, que forman parte del proceso mismo, estuvieron inicialmente orientados a obtener un diagnóstico de las concepciones de los alumnos respecto de *calor y temperatura*. La necesidad de profundizar las indagaciones en el transcurso de la puesta en práctica de los cambios, llevó a la utilización de un segundo instrumento de características similares a un prueba de opción múltiple. El análisis de los resultados mostró que ambas pruebas estaban sesgadas hacia la detección del grado de incorporación del lenguaje acordado por la comunidad científica. Esto indica que, para continuar el proceso, se hará necesario diseñar nuevas herramientas de evaluación que permitan completar la detección de otros aspectos relativos a la incorporación significativa de los conceptos considerados.

Del trabajo expuesto surge que los cambios, curriculares y metodológicos, planteados en el desarrollo de un curso deben apoyarse no solo en la evaluación interna de los resultados obtenidos durante su implementación sino también en la detección de dificultades de los alumnos al utilizar esos conceptos en actividades posteriores (académicas y/o laborales).

Asimismo, puede concluirse que resulta importante enmarcar la tarea dentro de un proceso de investigación en el que, con instrumentos de evaluación adecuados y actitud crítica, el equipo docente realice un seguimiento continuo que trascienda el lapso del dictado del curso. De la comparación de las respuestas de los alumnos de Ingeniería con aquellas obtenidas en el grupo control, resulta evidente que la introducción de innovaciones en el marco planteado da lugar a una mejor incorporación y persistencia en el tiempo de los conceptos considerados.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean manifestar su agradecimiento al Dr. A. Capparelli, Profesor Titular de la Cátedra de Físicoquímica de la Facultad de Ciencias Exactas de la UNLP y al Dr. E. L. Peltzer y Blancá, Profesor Titular de la Cátedra de Termodinámica de la Facultad de Ingeniería de la UNLP. Este agradecimiento debe extenderse a los alumnos y docentes de las Cátedras de Física I y Termodinámica, de la Facultad de Ingeniería de la UNLP, cuya participación nos permitió concretar este trabajo.

REFERENCIAS.

ALONSO, M. y FINN, E., 1995. An integrated approach to Thermodynamics in the Introductory Physics Course. *The Physics Teacher* **33**, 296.

AUSUBEL, D. P., 1978. *Psicología Educativa. Un punto de vista cognoscitivo* (Trillas, México).

BLACK, P. J., 1998. Evaluation and assesment. En *Connecting Research in Physics Education with Teacher Education*, ed. por A Tiberghien, E. L. Jossem y J. Barojas, publicado por The International Commission on Physics Education, 1998 (<http://www.physics.ohio-state.edu/~jossem/ICPE/BOOKS.html>)

BORDOGNA, C., CECCHI, G., COTIGNOLA, M. I. y PUNTE, G., 1994. Propuesta para un curso introductorio de Termodinámica. *Memorias del Segundo Simposio de Investigadores en Educación en Física*, Buenos Aires.

BORDOGNA, C., COTIGNOLA, M. y PUNTE, G., 1997. Mecánica clásica, termodinámica e hidrodinámica en “red”. *Memorias del Taller Iberoamericano de Enseñanza de la Física Universitaria*, La Habana, Cuba.

CAPPANNINI, O. M. y PELTZER Y BLANCÁ, E. L., 1996. La incorporación de los conceptos de energía, trabajo y calor en la formación básica de ingenieros., *Primer Congreso Argentino de Enseñanza de Ingeniería*, 7 al 11 de octubre de 1996, Río Cuarto, Córdoba.

COLL, C., 1991. *Aprendizaje escolar y construcción del conocimiento*. México. Editorial Paidós.

DOMÍNGUEZ CASTIÑEIRAS, J. M.; DE PRO BUENO, A. y GARCÍA-RODEJA FERNÁNDEZ, 1998. Las partículas de la materia y su utilización en el campo conceptual de calor y temperatura: un estudio transversal. *Enseñanza de las Ciencias* **16** (3), 461.

GIL PÉREZ, D., 1991. ¿Qué han de saber y saber hacer los profesores de ciencias?. *Enseñanza de las Ciencias* **9** (1), 69.

LEFF, H. S y MALLINCKRODT, A. J., 1992. Stopping objects with zero external work: Mechanics meets Thermodynamics. *Am. J. Phys.* **61**, 121.

MALLINCKRODT, A. J. y LEFF, H. S., 1991. All about work. *Am. J. Phys.* **60**, 356.

MARTÍNEZ, J. M. y PÉREZ, B., 1997. Estudio de propuestas alternativas en la enseñanza de la termodinámica básica. *Enseñanza de las Ciencias* **15** (3), 287.

MICHINEL MACHADO, J. L. y D’ALESSANDRO MARTÍNEZ, A., 1994. El concepto de energía en los libros de textos: de las concepciones previas a la propuesta de un nuevo sublenguaje. *Enseñanza de las Ciencias* **12** (3), 369.

PETRUCCI, D. y CORDERO, S., 1994. El cambio en la concepción de evaluación. Implementación universitaria. *Enseñanza de las Ciencias* **12** (2), 289.

POZO, J. L., GÓMEZ, M.A., LIMÓN, M. y SANZ, A, 1991. *Procesos cognitivos en la comprensión de las Ciencias: Las ideas de los adolescentes sobre la Química*. Secretaría General Técnica. Centro de Publicaciones M.E.C.: Madrid.

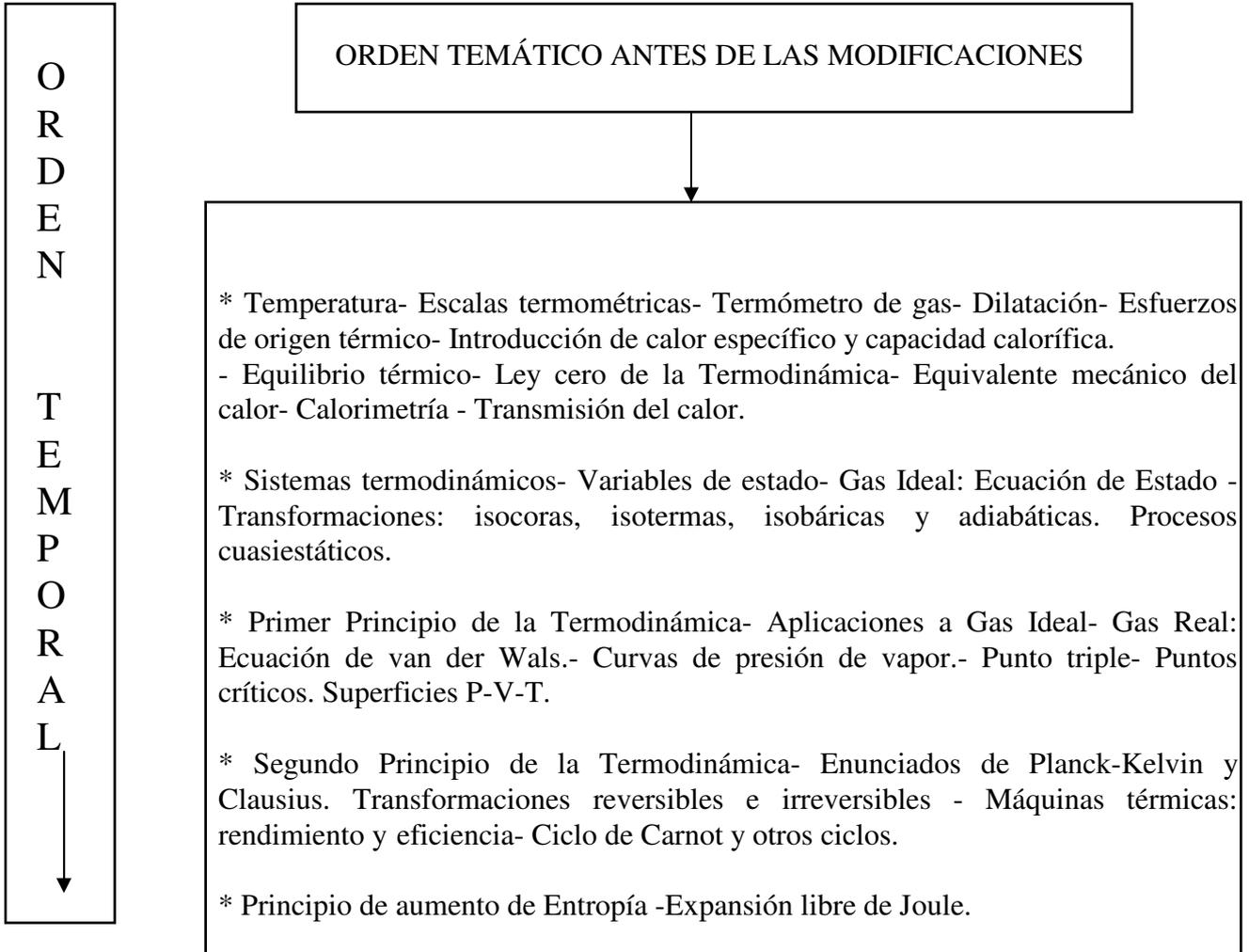
RAVILOLO, A., 1996. Núcleos conceptuales y secuencia constructivista en la enseñanza de la energía. *Revista de Enseñanza de la Física* **9** (2), 33-45.

RESNICK, R., HALLIDAY, D. y KRANE, K., 1993. *Física-Volumen I*, CECSA, San Juan de Tlhuaca, México.

SERWAY, R., 1993. *Física*, 3^{ra} ed., Mc Graw-Hill Interamericana Naucalpan de Juarez, México.

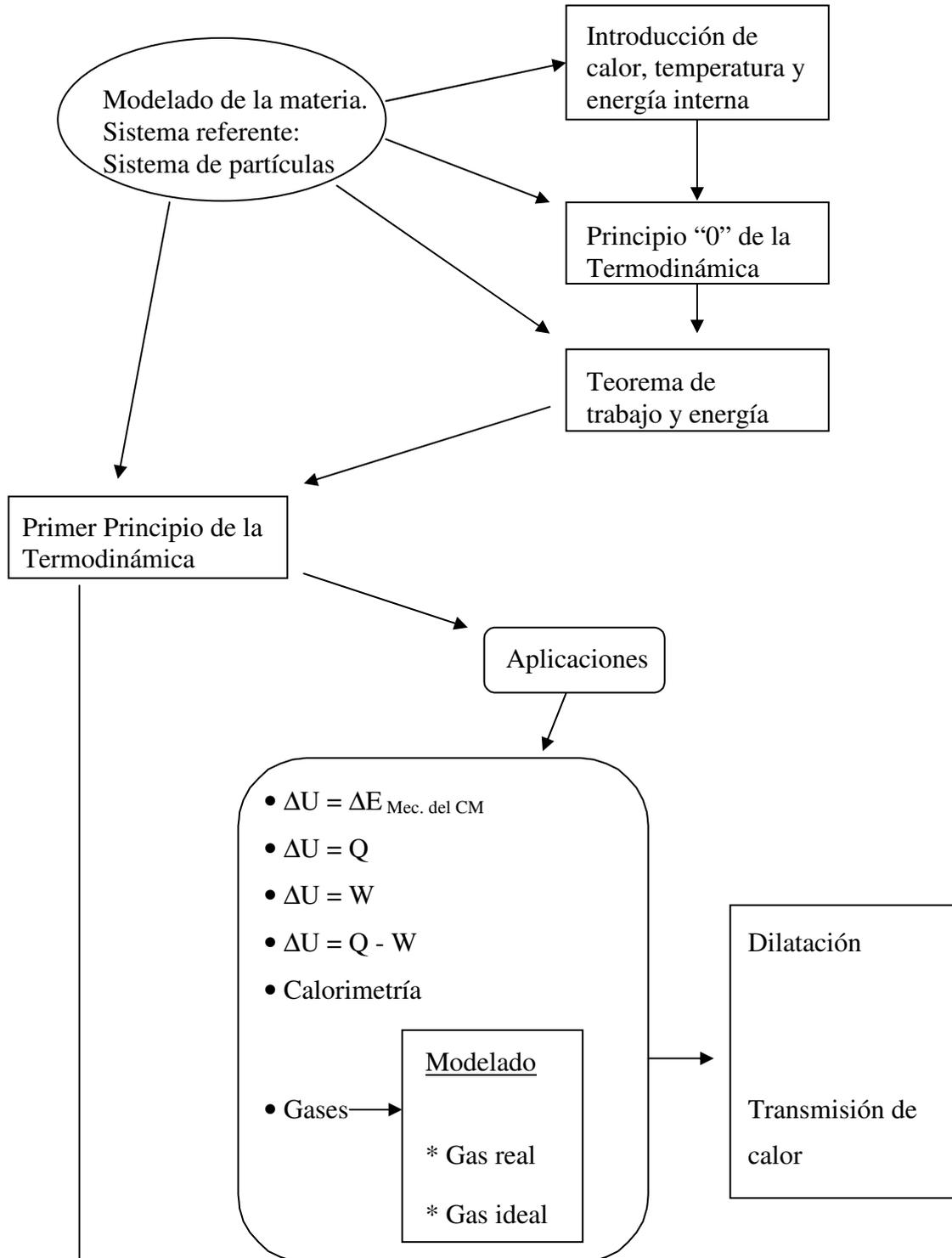
TIPLER, P., 1993. *Física*, Reverté S.A., España.

Anexo 1.



Anexo 2.

ORGANIZACIÓN TEMÁTICA DEL PERÍODO 1993-1995.



Continúa con los temas correspondientes al Segundo Principio de la Termodinámica.

Anexo 3.

Esta clase corresponde al bloque “Introducción a temperatura, calor y energía interna” del esquema mostrado en el Anexo 2. Los alumnos conforman grupos pequeños de 4 o 5 alumnos, con un docente ayudante cada tres grupos, y recorre las siguientes etapas:

Actividad 1. Trabajo en los grupos de alumnos sobre los problemas 1 y 2 de la guía.

Objetivos:

- Diferenciar lenguaje cotidiano (que utiliza la percepción a través de los sentidos) de lenguaje científico.
- Acordar definiciones identificando variables intensivas y extensivas.

Problemas utilizados:

- 1) Tomemos dos bloques, uno de telgopor y otro de metal. Toquemos con la mano derecha el bloque de telgopor y con la mano izquierda el de metal (es muy importante que esta experiencia la realicen todos los miembros del grupo).
 - a) ¿Qué siente cada mano al tocar los bloques?
 - b) Se puede inferir de esta manera si ambos bloques están a la misma temperatura? Tomemos dos termómetros y coloquemos uno en el orificio del bloque de telgopor y el otro ajustado al interior del bloque de metal.
 - c) Cuando los termómetros se estabilizan, ¿qué temperatura mide cada uno? ¿Se relaciona el valor obtenido con la sensación experimentada con cada mano?
- 2) Supongamos que se saca medio kg de salchichas del congelador. Disponemos de dos ollas, una con 3 litros y otra con 1,5 litros de agua caliente. Si queremos descongelarlas y que alcancen la mayor temperatura posible, ¿en cuál de las ollas pondremos las salchichas? ¿Por qué?. Hacer un informe escrito con las conclusiones de la discusión.

Actividad 2. Discusión en los grupos de los problemas 3, 4 y 5 de la guía sobre propiedades de un sistema de partículas mediante una simulación con una caja con bolillas.

Objetivos:

- Correlacionar, a través del modelo propuesto, variables intensivas y extensivas (por ejemplo, temperatura y energía).
- Relacionar (y diferenciar) con el modelo mecánico visto en módulos previos.

Problemas utilizados:

- 3) Para tratar de interpretar las nuevas magnitudes vamos a buscar un sistema simple para describir algunos fenómenos. Nuestro sistema pretende representar un gas. Sabemos que está compuesto por moléculas y suponemos que éstas se están moviendo. Una buena representación (modelo) de este sistema podría ser una caja con bolillas (que representarán a las moléculas). Solicitar al docente del grupo una bandeja con bolillas y

analizar: dimensiones y masa de las “moléculas” y el número por unidad de volumen.
¿Podríamos analizar el sistema que forma la caja con los conocimientos del Módulo II?
(Nota: el Módulo II incluye mecánica de un sistema de partículas)

- 4) Supongamos que, de alguna manera, podemos medir la temperatura de la caja del problema 3.
 - a) Si introducimos una pared en medio de la misma ¿qué pasará con las temperaturas de ambas mitades? ¿Y si no la introdujéramos justo en el medio?
 - b) Supongamos que la temperatura de la caja aumenta de alguna forma. ¿Variará la cantidad de movimiento de la caja? ¿Variará la energía cinética del centro de masa? ¿Variará alguna otra magnitud que conozcamos?
 - c) ¿Qué pasa con la temperatura de la caja si la misma se está moviendo? ¿Qué conclusiones se pueden obtener?
- 5) Si consideramos a la caja como un sistema mecánico, podemos definir una energía como la suma de las energías cinéticas de las partículas. Repetamos los análisis a) y b) del problema 4 para esta energía así definida. ¿Qué similitudes o diferencias encuentra con las respuestas del problema 4?

Actividad 3. Discusión en los grupos utilizando el problema 6 de la guía y analizando variaciones al modificar algunas características del modelo.

Objetivo:

- Analizar el comportamiento de las variables termodinámicas al modificar, por ejemplo, la masa de alguna de las “partículas” del modelo.

Problema utilizado:

- 6) Verificar que haya una bolilla que se pueda identificar entre las otras (por ejemplo con otro color). Mover la bandeja sobre la mesa rápida e irregularmente.
 - a) Observar el movimiento de la bolilla identificada. ¿Cómo se mueve en comparación con las otras?
 - b) Agregar un bolón a la bandeja. ¿Cómo se mueve el bolón en comparación con las bolillas?. Imaginemos que podemos aumentar la temperatura de la caja, ¿qué pasaría con el movimiento de las bolillas? ¿Y con el bolón?.

Actividad 4. Utilizando el problema 7 de la guía, discusión en los grupos del proceso denominado calor en el marco del modelo planteado.

Objetivos:

- Definir calor.
- Relacionar calor con energía y temperatura.

Problema utilizado:

- 7) Si nuestra caja está a una temperatura mayor que la ambiente, después de cierto tiempo ¿se enfría? ¿ se calienta? ¿por qué?. ¿Qué pasa en este proceso con la energía definida en el problema 5? ¿Puede aplicarse el principio de conservación?

Actividad 5. Discusión con toda la clase, con coordinación docente. La implementación se inicia con una exposición de los alumnos, punto por punto, de lo trabajado en los grupos. A partir de lo elaborado los docentes encausan la discusión hacia los objetivos planteados.

Objetivos:

- Estructurar los conceptos introducidos.
- Relacionar lo visto con la teoría cinética.