

EVALUACIÓN DE UN MODELO DIDÁCTICO ANALÓGICO PARA EL APRENDIZAJE DE ENERGÍA INTERNA Y TEMPERATURA

Raúl O. Zamorano; Horacio M. Gibbs; Lucrecia E. Moro; Javier E. Viau

Universidad Nacional de Mar del Plata, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales.

Departamento de Física, Mar del Plata. Argentina.

E-mail: dpffsica@mdp.edu.ar

[Recibido en Diciembre de 2005, aceptado en Mayo de 2006]

RESUMEN (Inglés)

Las dificultades de los estudiantes para conceptualizar correctamente las leyes de la termodinámica han sido estudiadas por diferentes autores, asimismo se han detectado los errores en nociones relativas a las magnitudes involucradas. Esas dificultades parecen residir en la falta de correspondencia entre el modelo macroscópico de las leyes de la termodinámica y el modelo cinético molecular de la materia. Ambos modelos teóricos, uno macroscópico y otro microscópico se plantean habitualmente en la clase, de modo que esta falta de conexión sería en parte proveniente de la instrucción. Consideramos que existe una continuidad entre los modelos conceptuales de los alumnos y el modelo teórico objeto del aprendizaje. En este trabajo se propone un modelo didáctico analógico para la enseñanza de los conceptos de temperatura y energía interna y se evalúa su eficiencia. Los resultados obtenidos fueron positivos mostrando una mejor utilización del modelo cinético molecular por parte de los alumnos.

Palabras Clave: aprendizaje activo; estrategias de enseñanza; energía interna y temperatura; modelos.

INTRODUCCIÓN

En este trabajo se estudió la efectividad de un modelo didáctico analógico para el aprendizaje de los conceptos de temperatura y energía interna. Las dificultades de los estudiantes para conceptualizar correctamente las leyes de la termodinámica han sido estudiadas por diferentes autores (Martínez y Perez, 1997; Michinel y D'alessandro, 1994), asimismo se han detectado los errores en nociones relativas a las magnitudes involucradas, como calor, trabajo, energía interna, temperatura, etc. (Thomaz y Malaquias, 1995; Albert, 1978). Esas dificultades parecen residir en la falta de correspondencia entre el modelo macroscópico de las leyes de la termodinámica, (relaciones de energía que emplean magnitudes fenomenológicas) y el modelo cinético molecular de la materia. Ambos modelos teóricos, uno macroscópico y otro

microscópico se plantean habitualmente en la clase, de modo que esta falta de conexión sería en parte proveniente de la instrucción.

El estudio de las analogías, las metáforas y los modelos nos provee de las herramientas para la exploración de la continuidad del progreso científico. Pero además, como señalamos más adelante, nos brinda la posibilidad de una planificación didáctica, contextualizando la enseñanza de los conceptos a los procesos cognitivos de los estudiantes.

Continuando con nuestra línea de investigación (Zamorano, Gibbs y Viau, 2005) proponemos un modelo didáctico analógico aplicado a diferenciar entre los conceptos de energía interna y temperatura quedando para otro trabajo, por motivos de extensión, el análisis de las representaciones cognitivas de los estudiantes. Es decir, la determinación del conjunto de los modelos comunes y la descripción de las zonas de sus perfiles conceptuales. En desarrollos ulteriores se aplicará el modelo a otros conceptos de la termodinámica.

FUNDAMENTOS

La línea de investigación sobre los procesos de enseñanza y aprendizaje científico basada en modelos ha adquirido relevancia (Duit, 1991; Dagher, 1995; Glynn, 1995) pero notamos que son pocas las aplicaciones en el aula, sobre todo en el nivel medio de enseñanza.

La conceptualización no necesariamente procede por la acomodación del marco conceptual previo, sino que incorpora los conceptos independientemente de los previos. Aún en dominios científicos hay diferencias ontológicas y epistemológicas entre modelos.

Otros investigadores hablan de facetas (Minstrell, 1992), modelos mentales (Vosniadou, 1994), visiones de los estudiantes (Thornton, 1997) y p-prims (di Sessa, 1993). Se encuentra que estos constructos muestran diferentes estructuras para diferentes conceptos, los que pueden evolucionar durante la instrucción y se comienza a entender en qué contextos será difícil para el estudiante aplicarlos. Los nuevos modelos no necesariamente dependerán de los previos y podrán ser aplicados a dominios nuevos o diferentes. Sólo cuando el concepto alternativo forma un obstáculo epistemológico u ontológico para desarrollar un modelo se tratará de superar esta contradicción. Esto no significa abandonar la vieja forma de conceptualizar, la cual sigue formando parte del perfil individual.

Modelos didácticos analógicos

Consideramos que existe una continuidad entre los modelos de los alumnos y el modelo teórico objeto del aprendizaje, ya que en sus perfiles conceptuales coexisten diversas ideas que van evolucionando con la instrucción. Los *modelos didácticos analógicos* sirven como puente para la introducción provisional de un modelo aproximado evitando una visión excesivamente instrumentalista. Son recursos para facilitar el aprendizaje cuando un modelo teórico posea un grado de abstracción que impida la comprensión del alumno (Aduriz- Bravo y Galagovsky, 1997). Sin disminuir

las características conceptuales, se trata de transfigurarlos mediante esquemas que utilicen sucesivas analogías, mientras que se mantiene la continuidad conceptual ya que permanecen los referentes ontológicos (Putnam, 1975).

El modelo didáctico deberá relacionar de forma estricta los componentes sustitutos y los originales. Sus relaciones funcionales también deberán analogarse. Se trata en definitiva de activar en los estudiantes la *intuición* y la *imaginación visual* (Kosslyn, 1981). Las representaciones de imágenes mentales tienen un carácter analógico que contribuye a un desarrollo representacional que comienza en lo figurativo y termina en lo proposicional. La participación del profesor deberá impedir que se extraigan conclusiones erróneas, ya que las correspondencias podrán fallar en algunos aspectos. Aquí es donde el control metacognitivo debe actuar para que el proceso de analogación no se cristalice y se pueda avanzar hacia otros niveles de representación sin que fracase esta estrategia didáctica.

Modelos macroscópicos y microscópicos

Bunge (1978) señala que existen distintos modelos alternativos que pueden estar incluidos en una teoría, siempre que éstos se construyan con conceptos que figuren en su estructura. Los divide en modelos teóricos de caja negra y representacionales. Los primeros son instrumentalistas como en el caso de la termodinámica clásica mientras que los segundos son realistas como los modelos atómicos-moleculares de la materia. Los modelos teóricos de caja negra son fenomenológicos, en general relacionados con las percepciones directas. Se inclinan por una descripción macroscópica y son bastante inductivistas. Son menos completos y pueden complementarse por medio de hipótesis. Los modelos teóricos representacionales son más profundos ya que postulan variables internas, son construcciones de alto nivel, porque dan explicación y predicción pero además deben postular un mecanismo que les brinde un valor interpretativo. El mayor objetivo de la modelización y teorización es elaborar modelos teóricos representacionales que incluyan y expliquen las correspondientes teorías fenomenológicas.

La teoría atómica de Dalton fue aceptada por la mayoría de los científicos del siglo XIX como una hipótesis utilitaria pero permanecieron escépticos sobre la existencia real de los átomos. Si bien no era una idea nueva, a partir de la década de 1850, Clausius, Maxwell y Boltzmann desarrollaron la teoría cinético-molecular de los gases. Clausius publicó en 1857 un trabajo donde atribuía a las moléculas de un gas movimientos lineales, rotacionales y vibratorios considerando que la temperatura de un gas era proporcional a la "vis viva" promedio de sus moléculas. En 1866 Boltzmann modificó este concepto en sus trabajos sobre la segunda ley de la termodinámica. Con su enfoque trató de unificar el modelo mecanicista (microscópico) con el de la termodinámica (macroscópico). Se diferenció de Clausius ya que relacionó la temperatura con la media temporal de la energía cinética de un átomo y no con el promedio sobre el conjunto de átomos de un sistema. Para una cantidad de calor transferido al sistema, que se transforma en distintos tipos de energía, la temperatura determina lo que se transforma en energía cinética del átomo.

Pero hasta comienzos del siglo XX, desde posiciones provenientes del positivismo, destacados pensadores como Mach, Duhem y Ostwald seguían considerando a los átomos y moléculas como una mera ficción instrumentalista. El positivismo consideraba innecesario establecer modelos teóricos que no pudieran ser verificados, mientras que Ostwald propuso que el concepto fundamental no era el de materia si no el de energía. La emergente termodinámica establecía relaciones con magnitudes macroscópicas basadas en fenómenos. Por lo tanto esas posturas negaban el reduccionismo mecanicista de la teoría cinética porque lo único que se veía en las ecuaciones de la termodinámica eran distintas manifestaciones de la energía. Aunque Boltzmann consideraba que la representación de los átomos como puntos materiales era provisional, mantuvo con los "energetistas" una encendida polémica durante muchos años.

Entre los cinco famosos artículos que Einstein publicó en 1905, dos de ellos versaban sobre las dimensiones moleculares y el movimiento browniano, basados en la teoría cinético molecular. Los trabajos de Einstein guiaron los desarrollos experimentales de J. Perrin, quien en 1908 obtuvo una confirmación de sus predicciones, hasta entonces inigualada. Ostwald reconoció que los resultados de Perrin "autorizan incluso al científico más cauteloso a hablar de una prueba experimental de la constitución atómica de la materia", mientras que Mach y Duhem no cambiaron de opinión. El átomo obtuvo una nueva partida de nacimiento y así, la materia y la energía dejaron de rivalizar por su prioridad ontológica.

Es común que en la educación científica se plantee para el mismo fenómeno un modelo realista para la explicación y un modelo instrumentalista para la predicción. Esta situación confunde a los estudiantes si no existe una relación entre ellos. En el planteo realista se puede creer que el modelo representa una descripción verdadera del mundo, por otra parte, para el instrumentalismo las experiencias son descritas por medio de modelos que son juzgados por su utilidad para la predicción en lugar de por su validez ontológica.

Ambas posiciones extremas tienen sus limitaciones, las que pueden ser salvadas considerando para la instrucción que los modelos teóricos son conjeturas sujetas a comprobación y podrían ser erróneas, sirven para calcular y predecir, pero se tiene la esperanza de que también sean explicaciones de la realidad. Para un instrumentalista, por el contrario, no hay necesidad de distinguir entre modelos teóricos y formalismo matemático.

Modelo cinético molecular

La formulación termodinámica de la primera ley establece que un sistema puede intercambiar energía con otro, por procesos tales como Q (calor), W (trabajo) o R (radiación). Esta energía transferida provoca la variación de la energía interna del sistema U.

$$\begin{aligned} E (\text{intercambio}) &\rightarrow Q + W + R \rightarrow \Delta U \\ \Delta U &= Q + W + R \quad \text{conservación de la energía} \end{aligned}$$

Desde una perspectiva microscópica podemos interpretar las distintas formas de intercambio de energía y también a la energía interna y relacionarlas con las magnitudes como presión, volumen y temperatura. En general, las moléculas poseen energía cinética de traslación gracias a su masa y su velocidad; también poseen energía de vibración y rotación, pues giran y vibran como consecuencia de su movimiento. Además, hay fuerzas intermoleculares que almacenan energía potencial.

Las moléculas de los gases nobles son especialmente simples pues son monoatómicas (He, Ar, Ne, etc). La energía interna sólo será energía cinética de sus partículas, suponiendo que no interaccionan entre ellas. Cuando las partículas poseen estructura y consideramos sus interacciones podemos expresar la energía interna como:

$$U = \sum E_c(i) + \sum E_p(ij) + \sum E_{\text{partícula}}(i)$$

$E_c(i)$: Energía cinética de cada partícula

$E_p(ij)$: Energía de interacción entre partículas

$E(\text{partícula})(i)$: Energía vibracional, rotacional, electrónica, etc. de cada partícula

Moléculas complejas, como las de O_2 , N_2 , CH_4 , formadas por dos o más átomos se comportan con sus átomos vibrando y girando alrededor de sus centros de masas, y cuando le suministramos energía sólo una parte de ella se invierte en incrementar la energía cinética de traslación, mientras que el resto se invierte en aumentar la energía de rotación y vibración. La temperatura es una medida de la energía cinética promedio de una molécula individual, es decir la energía cinética promedio de traslación. De modo que es necesario suministrar mayor energía a estos gases para producir un incremento determinado de temperatura.

La distinción entre temperatura y energía interna aparece ahora clara: la temperatura mide sólo la energía media del movimiento de traslación de las moléculas, mientras que la energía interna incluye también la energía de los restantes movimientos internos, incluso la energía potencial que cambia cuando las moléculas se alejan o aproximan al variar la temperatura.

NUESTRO MODELO DIDÁCTICO

El planteo de varios ejemplos en donde un cuerpo pierde toda la energía cinética de traslación que poseía, dando lugar al proceso de aumento de temperatura, presenta al alumno la idea de que la energía cinética puede estar en el cuerpo a pesar de que el mismo se encuentre en reposo. Con el empleo de breves ejemplos donde participan fuerzas de rozamiento, o un proceso de choque, tendremos en cuenta que la pérdida macroscópica de la Energía cinética da lugar a la aparición de un nuevo aspecto físico a ser medido: el aumento de temperatura como consecuencia de una transformación energética. Así se introduce al alumno en el concepto de que la energía permanece con frecuencia oculta bajo formas que no se manifiestan necesariamente como energía cinética del movimiento macroscópico de los cuerpos (por el contrario, la cantidad de movimiento no es pasible de ser escondida debido a su carácter vectorial).

El modelo didáctico que planteamos tiene por objetivo introducir estos conceptos en una especie de juego entre los alumnos participantes del curso y el profesor. La idea es poder modelizar los conceptos de energía interna y temperatura mediante el uso de analogías. Llevamos a los alumnos a que piensen en pequeño y traten de imaginar

microscópicamente qué ha sucedido con la energía involucrada en los ejemplos para poder interpretar físicamente y evaluar las transformaciones con algún tipo de medición. El profesor tratará de lograr la correcta adecuación de los conceptos involucrados mediante la correspondencia entre este modelo a gran escala y el modelo teórico objeto de la enseñanza.

Para mantener el rigor científico y simplificar nuestro modelo analógico consideraremos que las partículas son las de un gas monoatómico ideal. El ya clásico modelo de pelotitas de ping-pong chocando unas con otras y con las paredes del recipiente resulta adecuado para dar una idea del movimiento molecular de traslación. Además se hace particular hincapié en que podemos desprestigiar la interacción molecular, estando la energía interna del gas únicamente representada por energía cinética de traslación de sus moléculas.

Aplicación del modelo analógico

En el aula comenzamos a dar forma a nuestro modelo didáctico. En primer lugar se invita a los alumnos a que participen tomando el rol de partículas que conforman un gas monoatómico ideal (todas iguales), ocupando el volumen del aula (llamaremos a este recinto "aula azul" de aquí en adelante). Luego de este planteo, ellos deben hacer la abstracción de ser todos iguales, es decir tener la misma masa y las mismas propiedades físicas. En segundo lugar se cuenta a todos los alumnos presentes incluyendo al profesor, de forma tal de tener noción de la cantidad de alumnos-partícula que formarán parte de este "gas antropomórfico". Supongamos que su número es 10 (diez).

¿Que necesitamos ahora?, darles vida, es decir entregarles energía de forma tal que todas las partículas que lo componen tengan movimiento (sin movimiento no hay vida, y dentro de nuestro hipotético gas hay mucha vida, por cierto). Para que el modelo tenga mayor poder explicativo, se invita a los estudiantes a pensar en el aula vecina (en adelante llamaremos a ésta "aula roja"), de iguales dimensiones que la nuestra, pero ocupada por alumnos más pequeños. Entonces, se propone el siguiente planteo: imaginemos que la masa total de los alumnos vecinos es la misma, pero que por ser más pequeños tienen la mitad de tamaño (también deben ser todos iguales entre sí). Inmediatamente se notará que si tienen la misma masa y con su tamaño a la mitad, duplicarán en número a los integrantes de nuestra aula, resultando un número total de 20 (veinte). Resumiendo, tenemos dos aulas, una de ellas con 10 alumnos iguales, y la otra con 20 también iguales entre sí pero de la mitad de tamaño, de forma tal que la masa sea la misma en las dos aulas. La siguientes figuras ilustran esta idea.

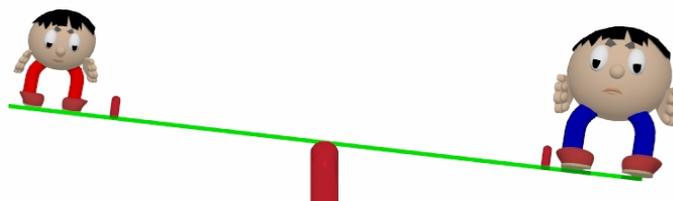


Figura 1. Alumnos-partícula de distinta masa.

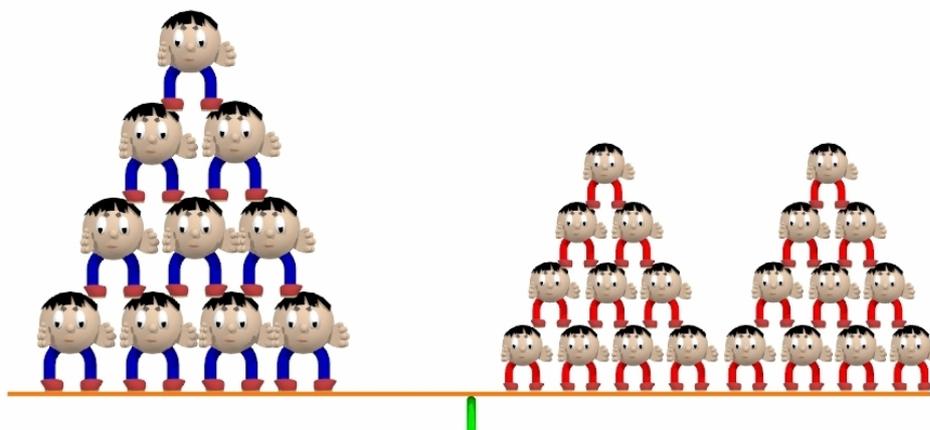


Figura 2. Igual masa pero distinto número de alumnos-partícula.

¿De qué forma podemos ahora darle vida a estas partículas? Entregándoles energía. Supongamos que repartimos 10 Joule de energía en cada aula, la que será tomada por sus integrantes. Para modelizar aún más esta energía, la hemos imaginado en forma de martillos, que serán repartidos entre cada uno de sus integrantes. Así, los alumnos del aula azul, recibirán cada uno de ellos un martillo de 1 J, lo que dará lugar a una energía interna total de 10 J. Mientras que los alumnos del aula roja, recibirán cada uno de ellos un martillo de $\frac{1}{2}$ J, lo que dará también una energía interna total de 10 J.

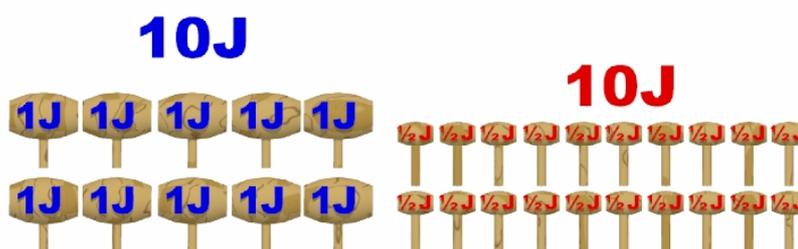


Figura 3. Distribución de igual energía entre ambas aulas.

Es decir, el cuadro de situación es el siguiente: tenemos dos aulas llenas de un gas ideal monoatómico, cada una de ellas con 10 J de energía interna. El aula azul, tiene alumnos-partícula con 1 J de energía cada uno en promedio, mientras que en la roja, la energía promedio por alumno-partícula es de $\frac{1}{2}$ J.

Como hemos supuesto que toda la energía recibida por cada partícula es únicamente de traslación, pues en nuestro gas ideal no hay rotación, vibración, ni energía potencial almacenada, se invita a los alumnos a imaginarse a ellos mismos provistos de este valor de energía de 1 J, trasladándose en el recinto que los contiene con una velocidad promedio acorde con la energía recibida. Seguramente notarán en forma inmediata las colisiones que sufrirán entre ellos mismos y con las paredes del recipiente que los contiene.

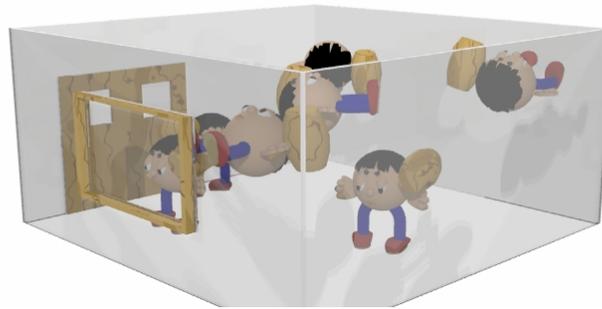


Figura 4. Modelo de gas analógico.

Tenemos entonces preparadas nuestras muestras, que nos servirán para ir modelizando sobre los distintos conceptos que nos interesa estudiar. En particular ya se ha tomado una debida cuenta del concepto de energía interna.

Pasemos ahora a realizar algunas mediciones introduciendo un termómetro en cada una de nuestras aulas. Pero, ¿qué es un termómetro?. Pues bien, invitamos a los alumnos a pensar que un termómetro es un dispositivo de medida que nos indicará la energía cinética promedio de las partículas con que se enfrenta. Como en las dos aulas existe la misma cantidad total de energía, pero repartida de forma diferente, el termómetro se enfrentará en el aula azul con alumnos-partícula que tienen 1 J de energía promedio cada uno de ellos, mientras que en el aula roja, los alumnos-partícula tienen $\frac{1}{2}$ J, obteniendo entonces mediciones diferentes en las dos aulas. La siguiente figura ilustra y modeliza físicamente a un termómetro como a un dispositivo que mide con una escala la energía cinética de las partículas que lo golpean.



Figura 5. Modelo mecánico de termómetro.

Este modelo mecánico de termómetro les permite a los alumnos una rápida comprensión del proceso de medida, y deja en claro la diferencia entre energía interna y temperatura: ambas aulas tienen la misma energía interna, pero las temperaturas son diferentes. El termómetro actúa como un dispositivo transformador que detecta la

energía cinética promedio de la muestra en donde es introducido y la convierte en una lectura sobre una escala graduada.

DISEÑO METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN

Metodología didáctica

Partimos de la hipótesis según la cual el grupo instruido a través del modelo didáctico analógico obtendría resultados más propicios en cuanto a la modelización microscópica de los conceptos de energía interna y temperatura.

Participantes: tres grupos pertenecientes a escuelas de nivel polimodal con orientación Ciencias Naturales. Colegio 1 (19 alumnos de segundo año), Colegio 2 (23 alumnos de segundo año), Colegio 3 (21 alumnos de segundo año), todos de 16 años de edad.

Un grupo de primer año de la Universidad, cursando en el segundo cuatrimestre la asignatura Química II (30 alumnos de las carreras de Ingeniería Química, en Alimentos y Materiales de 18 años de edad).

Un grupo de control (19 alumnos de tercer año de nivel polimodal, orientación Ciencias Naturales, 17 años de edad).

Todos de la ciudad de Mar del Plata.

Diseño y procedimiento: el diseño de esta investigación corresponde al de un estudio exploratorio-descriptivo a través del análisis de las respuestas de los estudiantes.

El objetivo fue evaluar la efectividad del modelo propuesto para el estudio de los conceptos de temperatura y energía interna. Para tal fin, fueron instruidos los grupos de alumnos pertenecientes a los colegios 1 y 2 con la aplicación del modelo didáctico analógico, mientras que los grupos correspondientes al colegio 3 y la universidad recibieron la instrucción tradicional.

El desarrollo del tema, realizado mediante la utilización del modelo analógico, tuvo una duración de 120 minutos en el colegio 1 y de 90 minutos en el colegio 2. Al finalizar la instrucción fue entregado a los alumnos un resumen del modelo y la ejercitación desarrollada en clase (ver **Anexo 1**) y en la clase siguiente fueron evaluados con el cuestionario previsto. En ambos colegios la clase fue dictada por el mismo profesor. El profesor que intervino y que participó en la realización del modelo analógico es profesor en el colegio 1, pero no en el colegio 2, en donde simplemente fue invitado a realizar esta práctica educativa durante 90 minutos de clase.

Los grupos pertenecientes al Colegio 3 y a la Universidad recibieron una instrucción tradicional por parte de sus profesores. En el Colegio 3 la instrucción tuvo una duración de 20 horas de clase, que consistió en el desarrollo de todo el temario previsto para el estudio de la termodinámica (temperatura, energía interna, calor, termometría, calorimetría, primera y segunda ley de la termodinámica), conjuntamente con la realización de las guías de trabajos prácticos y sus evaluaciones. Los alumnos fueron evaluados con el cuestionario al finalizar toda la instrucción. En la Universidad, los alumnos recibieron la instrucción correspondiente al cursado de la

materia Química I durante el primer cuatrimestre de las carreras indicadas y fueron evaluados en el cursado de la asignatura Química II del segundo cuatrimestre.

Metodología de evaluación

Materiales y validación: Para el desarrollo de este trabajo se utilizó un instrumento de lápiz y papel de respuestas múltiples, constituido por diez preguntas con cinco opciones cada una (ver **Anexo 2**). El mismo fue diseñado con el objetivo de obtener información acerca de la contrastación de los resultados obtenidos mediante una instrucción tradicional respecto de una instrucción en base a un modelo didáctico analógico.

Como una validación parcial de la consistencia del instrumento, se lo aplicó a un grupo de control (tercer año de nivel medio, orientación Ciencias Naturales). Una vez que respondieron al cuestionario de respuestas múltiples, evaluamos la consistencia entre sus razonamientos y las preguntas, para poder establecer si las mismas podrían precisar la conceptualización de los temas involucrados. Sobre 19 cuestionarios, encontramos pocos problemas de entendimiento sobre los enunciados y en general concordancia entre la comprensión de los alumnos y nuestras intenciones al formular las preguntas. También comprobamos que algunos estudiantes utilizan distintos modelos según el contexto de las distintas cuestiones.

Recolección y organización de datos: Los alumnos de todos los grupos respondieron al cuestionario dentro de los respectivos horarios de clase, con una duración asignada de 30 minutos. Los datos recolectados se organizaron, para cada pregunta, en una matriz. Se categorizaron como correctas e incorrectas y se obtuvieron los porcentajes correspondientes.

Para analizar si la utilización del instrumento fue adecuada para evaluar la efectividad del procedimiento empleado se utilizó la prueba U de Mann Whitney que permite determinar si las muestras son comparables. Para ello se plantearon las siguientes hipótesis:

$H_0: \mu_1 = \mu_2 \rightarrow$ Hipótesis nula: no hay diferencia entre los dos grupos

$H_1: \mu_1 \neq \mu_2 \rightarrow$ Hipótesis alternativa: existen diferencias entre los dos grupos

$\alpha = 0.15 \rightarrow$ Nivel de significancia

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para analizar los resultados debemos resaltar los siguientes aspectos:

- Los tiempos de instrucción fueron reducidos y sin ejercitación posterior para los Colegios 1 y 2.
- La enseñanza tradicional proporciona un desarrollo acabado del tema con toda una serie de problemas desarrollados para tal fin.
- El profesor que dictó la instrucción en el Colegio 2, sobre una clase de 90 minutos, no fue el profesor natural del curso, lo que dificultó el proceso de enseñanza al no tener conocimiento y manejo del grupo.

Después de la enseñanza del tema se compararon los cursos cuyos alumnos fueron instruidos a través del modelo analógico didáctico con el grupo que recibió la enseñanza tradicional. Se observó que el grupo que recibió instrucción con el modelo analógico didáctico alcanzó en forma más rápida la comprensión de la diferencia entre energía interna y temperatura. En la Tabla 1 se muestran los resultados correctos para cada ítem del cuestionario.

ITEM	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	N
Colegio 2	100	91	87	35	9	30	100	100	91	65	23
Colegio 1	100	89	95	74	16	37	95	89	84	63	19
Colegio 3	100	14	95	95	33	43	100	100	57	81	21
Universidad	50	20	27	60	10	47	63	77	50	33	30

Tabla 1. Porcentajes de respuestas correctas, por ítem, para cada grupo.

En la Tabla 2 se muestra la comparación entre los Colegios 1 y 3 y entre el Colegio 1 y la Universidad.

	"U" (de Mann Whitney)	μ_U	σ_U	z
Colegio 1	276	241	42	0.8
Colegio 3				

	"U" (de Mann Whitney)	μ_U	σ_U	z
Colegio 1	82	345	56	-4.7
Universidad				

Tabla 2. Aplicación de la "U" de Mann Whitney.

De los resultados obtenidos de los colegios 1 y 3 se corrobora la hipótesis nula, no habiendo diferencia entre los grupos, si bien se observa mayor conceptualización en el grupo instruido a través del modelo didáctico.

De los resultados obtenidos entre el colegio 1 y la Universidad se corrobora la hipótesis alternativa ya que existe una marcada diferencia entre los grupos. Desde nuestro parecer, esta diferencia radica en que el grupo de estudiantes universitarios fue instruido con el modelo macroscópico que habitualmente se emplea en clases de Química.

Un análisis cualitativo especial merecen las preguntas 2, 5 y 6 del cuestionario. En la pregunta 2 se observa que la instrucción tradicional si bien brinda un manejo macroscópico correcto por medio de la utilización de ecuaciones que vinculan la energía calórica, la masa y la temperatura de la muestra, estas relaciones los confunden en cuanto al concepto de energía interna. Es notable que tanto en el Colegio 3 como en la Universidad esta pregunta no fue contestada satisfactoriamente.

En cuanto a las preguntas 5 y 6, las mismas son directamente resueltas con la utilización de las ecuaciones formuladas en la enseñanza tradicional, lo que no ocurre

mediante la aplicación de un modelo microscópico. Si bien los resultados fueron superiores en el Colegio 3 y la Universidad, no lo fueron significativamente.

CONCLUSIÓN

Verificamos que la modelización didáctica constituye un recurso de extremada importancia para la enseñanza de la ciencia porque al recurrir a dominios de la experiencia cotidiana favorece la formación de imágenes mentales de lo comprendido y comprobamos que ayuda a la conceptualización de los temas científicos. Por otra parte notamos que las explicaciones a través de mecanismos analógicos de tipo cualitativo establecen una etapa previa necesaria para un conocimiento cuantitativo. El modelo que proponemos pudo ser desarrollado con elementos del aula y su tiempo de exposición fue breve.

El control metacognitivo inducido por el profesor en los estudiantes, es decir la adquisición conciente de la evolución de sus modelos conceptuales, permite también salvar las limitaciones y simplificaciones que introduce el modelo didáctico. Con este requisito comprobamos que la modelización analógica constituye un recurso importante para la enseñanza de la ciencia porque al recurrir a dominios de la experiencia cotidiana favorece la formación de imágenes mentales que ayudan a la conceptualización.

Esta propuesta, que forma parte de nuestra línea de investigación, se aplicará en desarrollos ulteriores al modelado analógico de calor y calor específico, primera y segunda ley de la termodinámica y circuitos de corriente continua. Pretendemos también que esta perspectiva didáctica sea utilizada en los cursos de los profesorado de ciencias experimentales resaltando lo concerniente a una clase real, tanto en sus tiempos como en consideraciones procedimentales, así como destacando la importancia del modelado en la investigación científica.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADURIZ BRAVO, A. Y GALAGOVSKY, L. (1997). Modelos científicos y modelos didácticos en la enseñanza de las ciencias naturales. *Actas X REF 1c 05*.
- ALBERT, E. (1978). Development of concept of heat in children, *Science Education*, 62(3), 389-399.
- BUNGE, M. (1978). *Filosofía de la Física*. Barcelona: Editorial Ariel.
- DAGHER, Z. R. (1995). Review of studies on the effectiveness of instructional analogies in science education. *Science Education*, 79 (3), 295-312.
- DI SESSA A. (1993). Towards an epistemology of physics. *Cognitive Instruction*, 10(2), 105-255.
- DUIT, R. (1991). On the role of analogies and metaphors in learning science, *Science Education*, 75 (6), 649-672.
- GLYNN, S. (1995). Conceptual bridges, Using analogies to explain scientific concepts. *The science Teacher*, 69 (9), 25-27.
- KOSSLYN, S.M. (1981). *Image and Mind*. Cambridge: Harvard Univ. Press.

- MARTÍNEZ, J.M y PÉREZ, B. A. (1997). Estudio de propuestas alternativas en la enseñanza de la termodinámica básica. *Enseñanza de las Ciencias*, 15(3), 287-300.
- MICHINEL J.L. y D´ALESSANDRO MARTÍNEZ A. (1994). El concepto de Energía en los libros de texto: de las concepciones previas a la propuesta de un nuevo lenguaje. *Enseñanza de las Ciencias*, 12(3), 369-379.
- MINSTRELL, J. (1992). *Facets of students knowledge and relevant instruction*. Germany: Edited by R. Duit, IPN, Kiel.
- PUTNAM, H. (1975). *Mind, Language and Reality: Philosophical papers*. Vol. 2. Cambridge: U.K. Cambridge Univ Press.
- THOMAZ M. y MALAQUIAS I. M. (1995). *An attempt to overcome alternative conceptions related to heat and temperature*. *Physics Education*, 30(1), 19-26.
- THORTON, R.K. (1997). *Conceptual dynamics: changing student views of force and motion*. New York, Wiley: Edited by E. F. Redish.
- VOSNIADOU, S. (1994). Capturing and modeling the process of conceptual change. *Learning Instruction*, 45-69.
- ZAMORANO, R., GIBBS H. y VIAU J. (2006). Modelado analógico en la enseñanza de circuitos de corriente continua. *Journal of Science Education*, 7 (1), 30-33.

ANEXO 1

Energía Interna (U) – Temperatura (T)

Diferentes formas de incrementar la energía interna y detectar su variación con un instrumento “Termómetro”.

- a) Trabajo Mecánico (Roce del Péndulo – Martillo – Batido).
- b) Radiación solar (en el Vacío).
- c) Transferencia por contacto de un cuerpo caliente a otro frío.

Pensemos en pequeño (microscópicamente).

$$U = \sum E_c(i) + \sum E_p(i,j) = \text{Energía Interna}$$

$E_c(i)$: Energía cinética de cada partícula = $\frac{1}{2} m_i \cdot v_i^2$

$E_p(i,j)$: Energía de interacción entre partículas. Energía Potencial

Sólidos: gran interacción entre partículas. Partículas fuertemente ligadas a una red cristalina. Movimientos de vibración en la red.

Líquidos: menor interacción entre partículas que los sólidos. Partículas pueden fluir.

Gases: muy poca interacción entre partículas. Partículas libres, ocupan todo el volumen.

Modelo de gas ideal monoatómico

- a) Partículas iguales (monoatómico).
- b) No hay interacción entre ellas (Energía potencial = 0).
- c) Choques perfectamente elásticos entre partículas.

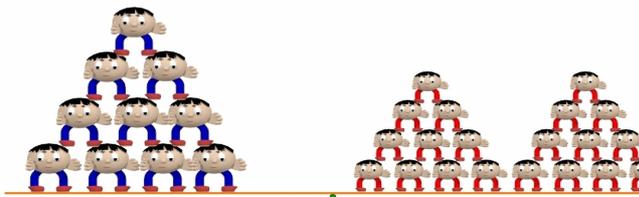


Figura : igual masa pero con distinto número de alumnos-partícula.

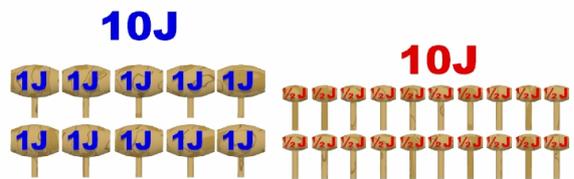


Figura: Distribución de 10 J en ambas muestras.

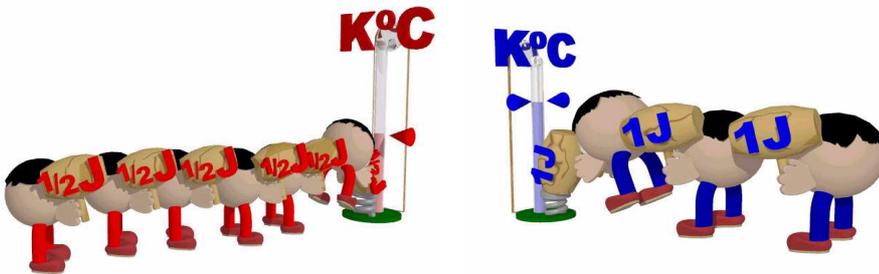


Figura : modelo analógico de termómetro.

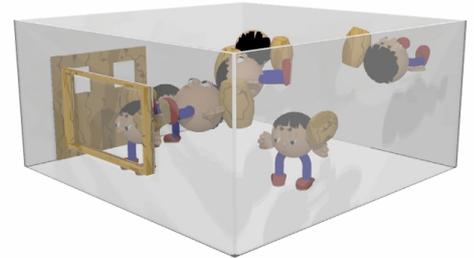


Figura : modelo analógico de gas.

Ejercitación:

- 1) Una piedra caliente se coloca en un balde de agua fría. ¿Realiza la piedra trabajo sobre el agua?.
- 2) Si el balde del problema anterior está aislado térmicamente, ¿qué le ocurre a la Energía interna total de la piedra y del agua, cuando la primera se enfría y la segunda se calienta?.
- 3) Un gran saco de arena cuelga de un árbol mediante una soga larga. Un muchacho dispara sobre el saco una bala que se incrusta y se detiene en él. Describir los cambios energéticos que tienen lugar.
- 4) a) Un cilindro que contiene gas Helio está cerrado con un pistón desplazable sin rozamiento. Un hombre actúa sobre el pistón rápidamente comprimiendo el Helio, el cual se calienta, ¿por qué?.
- 5) b) Un cilindro con un pistón móvil contiene Helio comprimido. El pistón se deja en libertad, con lo cual el Helio se expande y se enfría, explicar por qué se enfría.

ANEXO 2

CUESTIONARIO: Energía interna - Temperatura

Marque entre las opciones la que crea verdadera en cada caso (una sola opción)

1.- Indique cómo varía la energía interna y la temperatura de un bloque de plomo que se lo martilla en forma continua.

- | ENERGÍA INTERNA | TEMPERATURA |
|---|-----------------|
| <input type="checkbox"/> a) aumenta | permanece igual |
| <input checked="" type="checkbox"/> b) aumenta | aumenta |
| <input type="checkbox"/> c) permanece igual | aumenta |
| <input type="checkbox"/> d) disminuye | disminuye |
| <input type="checkbox"/> e) Ninguna de las anteriores: depende del material con que está construido el martillo, si es de goma no es lo mismo que si es de acero. | |

2.- Cuando una masa de café a 10 °C se mezcla con una masa de agua a 5 °C .

- a) la energía interna total de la mezcla aumenta.
 b) la temperatura final de la mezcla será mayor de 15 °C.
 c) la temperatura final de la mezcla será menor de 5 °C.
 d) la energía interna total de la mezcla será la suma de las energías internas (café + agua).
 e) Ninguna de las anteriores: la respuesta a cualquier pregunta que se realice sobre la energía interna total y/o la temperatura final requiere del conocimiento de las masas de café y de agua que se mezclen.

3.- Un Iceberg con una temperatura de 0 °C flota en un mar de agua que se encuentra a 10 °C.

- a) La temperatura del mar, una vez derretido el Iceberg será de 5 °C.
 b) La energía interna del Iceberg transferida al mar determinará una temperatura final levemente superior a 10 °C.
 c) El producto final tendrá una temperatura levemente superior a 0 °C.
 d) La energía interna total aumenta una vez derretido el iceberg.
 e) El producto final tendrá una temperatura levemente inferior a 10 °C.

4.- Si cuando se comprime un gas aumenta su temperatura, entonces se puede afirmar que:

- a) La energía interna aumenta a pesar de que el volumen es menor.
 b) La energía interna disminuye por ser el volumen menor.
 c) El aumento de temperatura provoca que la energía interna permanezca constante.
 d) Las partículas por ocupar un menor volumen tendrán menor velocidad promedio.
 e) Ninguna de las respuestas anteriores es correcta.

5.- Un bloque de cobre (Cu) y otro de hierro (Fe) de igual masa pero a distintas temperaturas se ponen en contacto de forma que transcurrido un tiempo suficiente, adquieren la misma temperatura. Compare las variaciones en la energía interna ΔU y en la temperatura ΔT en ambos bloques.

Indique si las variaciones en la energía interna (ΔU) y las variaciones de la temperatura (ΔT), independientemente de los signos (en módulo), son iguales o distintas en cada uno de los bloques.

- | ΔU – (ENERGÍA INTERNA) | ΔT - (TEMPERATURA) |
|--|----------------------------|
| <input type="checkbox"/> a) iguales | iguales |
| <input type="checkbox"/> b) distintas | distintas |
| <input type="checkbox"/> c) distintas | iguales |
| <input checked="" type="checkbox"/> d) iguales | distintas |

e) Ninguna de las anteriores: depende de las temperaturas de los bloques.

6.- Una bala de plomo a 10 °C se dispara contra una placa de hierro, deformándose y deteniéndose. Como consecuencia de ello, la temperatura de la bala aumenta en 10 °C (su temperatura final es de 20 °C). Si la bala tuviese el doble de masa, a 10 °C, con la misma velocidad, cuál sería la mejor estimación para su variación de energía interna y su temperatura final.

- | TEMPERATURA FINAL | ENERGÍA INTERNA |
|--|-----------------|
| <input checked="" type="checkbox"/> a) 20 °C | aumenta |
| <input type="checkbox"/> b) 30 °C | permanece igual |
| <input type="checkbox"/> c) 15 °C | disminuye |
| <input type="checkbox"/> d) 30 °C | aumenta |
| <input type="checkbox"/> e) 10 °C | aumenta |

7.- A un bloque de un cierto material que se encuentra a una temperatura de 0 °C, en un día soleado con una temperatura ambiente de 30° C, se lo expone a la radiación solar. Como consecuencia de ello:

- a) sólo aumentará su energía interna.
 b) sólo aumentará su temperatura.
 c) aumentarán su temperatura y su energía interna.
 d) el bloque alcanzará una temperatura de equilibrio de aproximadamente 15 °C.
 e) ninguna de las anteriores es correcta.

8.- Las moléculas de la materia tienen energía interna cuando ésta se encuentra

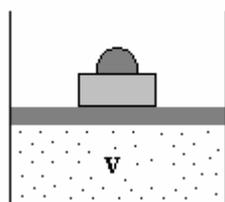
- a) sólo en estado gaseoso.
- b) sólo en estado líquido.
- c) sólo en estado sólido.
- d) depende de la temperatura para cada estado.
- e) en cualquier estado.

9.- Con el fin de duplicar la energía cinética promedio de las partículas en una muestra de gas, la temperatura debe

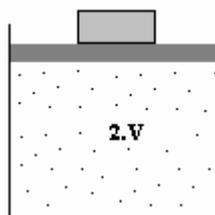
- a) reducirse a la mitad.
- b) aumentar en un factor igual a $\sqrt{2}$.
- c) duplicarse.
- d) cuadruplicarse.
- e) ninguna de las anteriores es correcta.

10.- En la figura se observa un gas que ocupa un volumen V . Si se quita la pesa más pequeña sobre el émbolo móvil, el gas se expande y el volumen ahora será $2V$ según se indica. Entre el émbolo y la pared no hay rozamiento ni pérdidas. Podemos decir que al pasar de la situación 1 a la 2:

- a) solamente disminuye la temperatura del gas.
- b) solamente disminuye la energía interna.
- c) la temperatura y la energía interna disminuyen.
- d) no se puede concluir en base al enunciado ya que los datos son insuficientes.
- e) al aumentar el volumen, las partículas se mueven más libremente y aumenta la temperatura.



Situación 1



Situación 2

SUMMARY

The difficulties to correctly conceptualize thermodynamics laws have already been studied by different authors. Errors in notions related to the magnitudes involved have been detected. It seems that these difficulties occur due to the lack of correspondences between the microscopic model from the thermodynamics laws and the molecular kinetic model. Both theoretic models, one of them macroscopic and the other microscopic are usually discussed in class, therefore, this lack of connection would partly come from instruction. We believe that there is a continuity between the conceptual model and the theoretic model to be learnt. We propose an analogical didactic model applied to establish a difference between the concepts of internal energy and temperature and its efficiency is evaluated. The results obtained were positive showing a better utilization of the molecular kinetic model on the part of the students.

Key Words: *classroom active learning; internal energy and temperature; models; strategies for teaching.*