

EXPLICACIONES DE PROCESOS TERMODINÁMICOS A PARTIR DEL MODELO CORPUSCULAR: UNA PROPUESTA DIDÁCTICA

CÁRDENAS, M. y RAGOUT DE LOZANO, S.

Instituto de Física. Universidad Nacional de Tucumán. Av. Independencia, 1800.
(4000) S.M. de Tucumán. Argentina.

SUMMARY

According to the results of an exploratory research on Thermodynamics, it is concluded that the university students tested prefer explanations which account for underlying mechanisms (batigenous explanations) in physical phenomena analysed during the instruction process.

Usage of explanations of this type as a promising didactical resource in the teaching of certain thermodynamic changes in gases is suggested, and two particular processes are used as examples.

ALGUNOS ANTECEDENTES

En el ensayo «Historia de la explicación en Física», Halbwachs distingue tres tipos elementales de explicaciones dadas a través de la historia de la física: la heterogénea, la homogénea y la «batígena» (del griego *bathus*, profundo).

La explicación heterogénea (o también causal) es aquella que consiste en hacer intervenir la acción del mundo exterior sobre el sistema físico en estudio, estableciendo fundamentalmente una relación unívoca entre un sistema agente y un sistema paciente. Por ejemplo, el teorema trabajo-energía cinética, en la dinámica de una partícula, permite explicaciones de este tipo.

Otro tipo de explicación, la homogénea, es más bien de carácter formal, descriptiva de las cualidades del fenómeno analizado, sin recurrir a agentes externos y justificada por las propias cualidades de forma, privilegiando el «cómo», sin tener en consideración el «porqué». Las

leyes de la cinemática son un claro ejemplo de este tipo de explicación.

El tercer tipo de explicación descrito por Halbwachs, que denomina explicación batígena, apela a los *mecanismos profundos* que dan lugar a los fenómenos, y a partir de los cuales se puede dar cuenta de las leyes que relacionan las variables macroscópicas que caracterizan a los sistemas. Podemos citar como explicación batígena de la elasticidad de los sólidos, el modelo de «resortes» microscópicos que ligan los átomos de la red cristalina, responsables del comportamiento macroscópico observado.

La investigación educativa brinda ejemplos (Brown, 1992) que demuestran que este último tipo de explicación no sólo es la que más satisface a los estudiantes, sino que es a veces el mejor recurso para que el aprendizaje de los contenidos sea significativo. Por otra parte,

los docentes sabemos que los estudiantes idean sus propios modelos de mecanismos explicativos, que normalmente no coinciden con los científicamente aceptados.

Particularmente, en el tratamiento de la termodinámica en los textos universitarios se analiza la estructura atómica de la materia, pero, tal como lo afirma Martinand (1986), este modelo «funciona más bien como una *imagen*, y es poco utilizado de forma operatoria».

En razón de los argumentos expuestos, pensamos que dentro de lo posible los docentes, sobre todo de los cursos básicos universitarios (y quizás incluso del nivel medio), debemos emplear las explicaciones batígenas, ya que oportuna y adecuadamente utilizadas pueden constituirse en recursos didácticos de gran valor, al otorgar significado físico a las variables y relaciones que las vinculan.

Para reforzar lo antedicho, mencionaremos algunos de los resultados descritos por Brown (1992), acerca del uso de ejemplos y analogías que permiten a los alumnos construir un mecanismo explicativo de tipo batígeno, para lograr la comprensión del principio de acción y reacción en el caso de cuerpos superpuestos. Brown analiza el grado de comprensión que alcanzaron dos grupos de alumnos. Uno de ellos fue sometido a una presentación tradicional del tema, a través de fragmentos de libros de texto muy difundidos y de mucho prestigio. A los estudiantes del otro grupo, mediante una serie de analogías encadenadas («bridging»), se los orientaba hacia la consecución de un mecanismo explicativo, basado en la naturaleza molecular de los cuerpos sólidos que estaban en contacto, que les permitió elaborar una explicación batígena satisfactoria del principio de acción y reacción.

Del análisis de los resultados obtenidos en la experiencia, Brown concluye que casi todos los alumnos del segundo grupo lograron el cambio conceptual, desde la arraigada creencia de que los cuerpos en reposo no ejercen fuerzas a la concepción científica expresada en la tercera ley de Newton, no habiéndose observado los mismos resultados en el grupo tratado con un texto tradicional.

Easley Jr. (1982), en un interesante artículo sobre la investigación de tipo cualitativo, hace hincapié en la necesidad de comprender los mecanismos explicativos subyacentes a los fenómenos naturales como paso previo a la cuantificación de las teorías físicas. En el artículo cita a Kuhn (1961), quien, en su análisis de la historia de la física, muestra que la naturaleza general de las relaciones entre las variables relevantes de los fenómenos físicos se conoce a partir de las teorías cualitativas previas antes de que se sepa cómo medir, y que las teorías cualitativas están generalmente relacionadas con un *mecanismo*.

Creemos que, a semejanza de lo que sucede en la ciencia, también durante el proceso de aprendizaje, un análisis cualitativo previo de los fenómenos favorece la comprensión de las relaciones que los legalizan, y coincidi-

mos con la opinión de Easley de que, en general, en los cursos básicos de física, todas las leyes se presentan como si contuvieran todo el conocimiento científico, dando de este modo una visión distorsionada de la metodología científica y del desarrollo de la ciencia.

En el presente trabajo, haremos un breve análisis de la presentación usual de los fenómenos térmicos en los textos más difundidos, en particular de las leyes que describen el comportamiento de los gases, y de algunas dificultades detectadas en estudiantes cuando tratan de explicar el comportamiento de sistemas gaseosos.

Propondremos algunos tipos de explicaciones batígenas que den cuenta de los mecanismos explicativos subyacentes en los fenómenos térmicos, haciendo referencia a la teoría cinético-molecular en un nivel adecuado a los cursos básicos de física, y poniendo el énfasis en el modelo elemental del comportamiento mecánico de un sistema de partículas.

DIFICULTADES EN EL APRENDIZAJE DE LA TERMODINAMICA

Además de las conocidas dificultades de los alumnos en diferenciar los conceptos de calor y temperatura, el estudio de la termodinámica presenta serios obstáculos en su comprensión. Como señalan Rozier y Viennot (1990), los problemas pueden deberse a que, en este tema de la física, la descripción de los fenómenos se hace a través de varias variables macroscópicas que cambian simultáneamente, ligadas por relaciones funcionales que a los alumnos les resulta complicado comprender y manejar, pues generalmente los temas estudiados previamente sólo requieren el empleo de funciones de una variable.

La mayoría de los textos usados en los cursos básicos de nivel universitario se inclinan por la descripción macroscópica de los fenómenos térmicos, basada en los conceptos de presión, volumen, temperatura, energía interna, etc., en general relacionados con las percepciones directas de los fenómenos. La descripción de los mismos fenómenos puede hacerse, como ocurre en la mecánica estadística, usando variables microscópicas asociadas con el movimiento de las partículas que componen el sistema físico en estudio.

Las magnitudes macroscópicas que se usan para describir los procesos termodinámicos están relacionadas con los valores medios de las magnitudes microscópicas que caracterizan el proceso molecular correspondiente, pero en general *no se explota adecuadamente el modelo mecánico microscópico* para explicar los procesos termodinámicos que se describen con las variables macroscópicas (por ejemplo dilataciones y compresiones de los gases).

De este modo, para la mayoría de los alumnos, el conocimiento de los procesos termodinámicos se reduce a un

manejo automático de relaciones funcionales sin comprensión de la naturaleza de las transformaciones que tienen lugar en los sistemas físicos.

En general, el comportamiento de un gas por ejemplo, sólo puede ser medianamente descrito por los alumnos a través de un análisis geométrico de las representaciones gráficas de las funciones con las cuales se expresan las leyes de comportamiento.

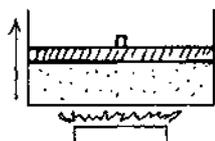
Pensamos que, sin entrar en el tratamiento cuantitativo riguroso de la mecánica estadística, el docente puede acrecentar la comprensión de los procesos termodinámicos analizados en los cursos básicos, mediante el empleo de explicaciones batígenas que den cuenta, de forma simplificada, de los mecanismos de interacción entre el sistema considerado y su ambiente.

LAS EXPLICACIONES QUE PREFIEREN LOS ALUMNOS

En el transcurso de una investigación exploratoria sobre las concepciones de los estudiantes respecto a conceptos y procesos relacionados con los fenómenos térmicos, se tomó como grupo de estudio a los cursantes (N=34) de la asignatura Física General (cuatrimestral) de la Facultad de Ciencias Naturales de la Universidad Nacional de Tucumán, alumnos de las carreras de Geología y Licenciatura en Ciencias Biológicas. La asignatura pertenece al segundo año de ambas carreras, a las que los estudiantes accedieron sin curso de ingreso. En el primer año, habían cursado además de Matemática y Química General e Inorgánica –ambas cuatrimestrales– otras tres asignaturas específicas de la correspondiente carrera. El cuestionario que se suministró constaba de 8 ítems de respuesta abierta, referidos a contenidos que habían sido desarrollados en el curso de Física (calor y temperatura, equilibrio térmico, dilatación térmica, gases ideales), pero presentados de manera diferente a los ejercicios de final de capítulo de los libros de texto. Debe destacarse que en el curso se empleó un enfoque macroscópico, como es lo usual en la bibliografía de uso generalizado en nuestro medio (Halliday-Resnick, Tipler, Strother, Cromer, etc.). El programa de la asignatura no incluía la teoría cinético-molecular de la materia.

En este trabajo nos limitaremos a analizar las respuestas a uno de los ítems incluido en el cuestionario, tomado de un trabajo de Rozier y Viennot (1990), en el que las autoras analizan cómo proceden los estudiantes cuando se enfrentan con problemas que involucran más de dos variables.

El ítem seleccionado es el siguiente:



Un gas perfecto es calentado a presión constante. Tanto su volumen como su temperatura aumentan. ¿Puede explicar por qué?

Nuestro objetivo fue investigar cómo explicaban los alumnos la situación física planteada (calentamiento isobárico), que es uno de los procesos termodinámicos que usualmente se estudia en los cursos de física básica universitaria, y no se dio ninguna consigna específica respecto de qué se entendería por explicación.

Se suministró la encuesta a todos los alumnos del curso (N=34), de los cuales 6 no respondieron a la pregunta.

Independientemente de que las explicaciones dadas por los alumnos fueran o no correctas, podemos diferenciar claramente dos tipos:

a) las basadas fundamentalmente en la ecuación de estado de los gases ideales, combinada en algunos casos con el primer principio de la termodinámica o alguna referencia a los aspectos moleculares (N=12);

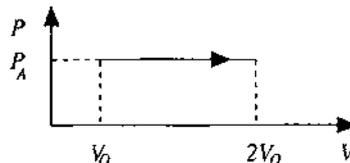
b) las que tratan de explicitar un mecanismo subyacente al fenómeno, haciendo mención de la naturaleza molecular de la materia, sin usar formalismos de ningún tipo (N=16).

Este resultado no esperado de que más de la mitad de los alumnos que respondieron a la pregunta recurrieran a «mecanismos» para explicar el aumento de la temperatura y del volumen del gas, cuando, como ya se puntualizó, durante el curso sólo se había trabajado con el enfoque de la termodinámica clásica (macroscópico) y fundamentalmente en base del análisis de diagramas presión-volumen, indicaría la preferencia de los estudiantes por las explicaciones del tipo que Halbwachs denomina batígenas.

Muchas de las respuestas del tipo a fueron correctas, pero algunas mostraban un manejo automático de la ecuación de estado de los gases, o sólo una correcta interpretación geométrica del diagrama (P,V) correspondiente al proceso isobárico, pues los alumnos hacían luego acotaciones que revelaban la escasa comprensión del proceso físico de transferencia de energía mostrado.

Por ejemplo, en la respuesta que se transcribe:

$P=cte$, proceso isobárico. Si nos llevamos por la gráfica, vemos claramente que la presión es constante pero que el volumen varía de V a $2V$, y la temperatura aumenta también. Esto ocurre porque, al ser calentado, las temperaturas aumentan, el volumen también debido a que las moléculas se encuentran más lejos entre sí.



La primera parte de la respuesta es correcta y, si su autor no hubiera agregado el párrafo final, podríamos pensar que su comprensión del tema es satisfactoria. Sin embargo, es claro que también está buscando dar una explica-

ción batígena, en la cual se manifiestan errores conceptuales.

La mayoría de las respuestas del tipo *b* fueron incorrectas, y en ellas se pusieron de manifiesto las preconcepciones acerca del comportamiento de las moléculas del gas, y las confusiones entre diferentes magnitudes físicas.

Esto no debe sorprender, pues en el curso no se había realizado un estudio detallado de los procesos que suceden a nivel microscópico.

Citamos como ejemplo la siguiente respuesta:

El volumen aumenta porque el nivel de agitación de las moléculas aumenta, por lo tanto, necesitan más espacio entre ellas. La temperatura aumenta porque al estar las moléculas más agitadas chocan unas con otras y liberan energía que se transforma en calor.

Aunque en esta explicación se evidencian muchas confusiones y errores conceptuales, hay una intención de buscar un mecanismo explicativo profundo, apelando a la estructura molecular del gas.

Las explicaciones batígenas aportadas por los estudiantes muestran dos aspectos importantes para la didáctica de la física:

Revelan las concepciones erróneas y las confusiones más frecuentes en el tema.

Manifiestan una necesidad natural de los alumnos de encontrar «mecanismos» explicativos subyacentes, como paso previo a la cuantificación que proveen las leyes físicas, y a la cabal comprensión del significado de las mismas, en coincidencia con lo señalado por Brown (1992) y Easley (1982).

Como consecuencia de lo anterior, pensamos que sería un valioso recurso didáctico, para mejorar la comprensión y facilitar el aprendizaje, que el docente proporcionara a los alumnos explicaciones batígenas fundamentadas en la teoría cinético-molecular de la materia, durante el estudio de la termodinámica. De esta manera se favorecería la construcción, por parte de los estudiantes, de *modelos físicos*, en lugar de centrar el aprendizaje en el manejo de relaciones funcionales entre variables, que, si no se presentan cuidadosamente, pueden fomentar el manejo puramente matemático de las mismas, perdiéndose así el significado físico de las variables de estado y de interacción que describen los procesos en estudio.

LAS EXPLICACIONES BATÍGENAS DE ALGUNOS PROCESOS

Nos limitaremos, como es habitual en los cursos de física básica, al tratamiento de sistemas en estado gaseoso. Por razones de espacio, y a modo de ejemplo, proporcionamos

explicaciones batígenas de sólo dos procesos que comúnmente se estudian en dichos cursos.

Calentamiento de un gas ideal a presión constante

Los textos de uso corriente analizan este proceso para calcular el trabajo realizado por el gas al producirse el fenómeno, con el fin de evaluar uno de los términos de la formulación matemática del primer principio de la termodinámica.

Sin embargo, ni aún en el libro de Eisberg y Lerner (Vol. 2, 1984), que es uno de los pocos que presenta discusiones frecuentes de las bases microscópicas de los fenómenos macroscópicos, se hace una descripción de lo que sucede desde el punto de vista molecular cuando se produce una expansión isobárica. Si bien el primer principio brinda un balance energético que da cuenta del fenómeno, no provee al estudiante de un mecanismo explicativo del mismo. Entonces, ¿cómo explicar por qué aumentan la temperatura y el volumen de un gas cuando éste es calentado isobáricamente? (como en el caso de la explicación solicitada a los estudiantes en el cuestionario mencionado anteriormente).

Aquí no demostraremos que la presión *p* que un gas contenido en un recipiente de volumen *V* ejerce sobre las paredes del mismo es:

$$p = \frac{2}{3} \cdot \frac{N}{V} \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot m\bar{v}^2 \right)$$

donde *N* es el número de moléculas, *m* la masa de cada molécula y \bar{v}^2 es el valor medio del cuadrado de las velocidades de las moléculas (Tipler, 1978, p. 315), y daremos por comprendida la interpretación cinética de la temperatura como medida de la energía cinética promedio de traslación de las moléculas de un gas ideal (Tipler, p. 479)...

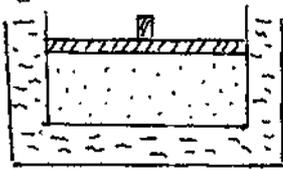
$$\left(\frac{1}{2} \cdot m\bar{v}^2 \right) = \frac{3}{2} kT$$

y nos basaremos en estos resultados para dar una explicación batígena del proceso de expansión isobárica:

«El movimiento constante de las partículas que componen los cuerpos encierra la naturaleza de los fenómenos térmicos.»

Cuando se ponen en contacto dos sistemas que se encuentran a diferentes temperaturas, los átomos (o moléculas) constituyentes de cada uno de ellos chocarán (interactuarán) con los del otro y se transmitirán energía mutuamente. El cuerpo que cede energía es el que está a mayor temperatura, y el que la recibe es el de temperatura menor. Esta energía intercambiada como consecuencia única de la diferencia de temperaturas (energía cinética promedio) entre los dos sistemas es lo que se denomina «calor».

Cuando se calienta el recipiente que contiene el gas, por ejemplo, colocándolo en contacto con un baño de agua caliente, la energía media de un átomo de la pared es mayor que la de una molécula del gas, pero esta diferencia no se mantiene. Por efecto del bombardeo constante de las moléculas del gas sobre la pared, los átomos de la pared transfieren energía a las moléculas del gas en la mayoría de los choques (en promedio).



Esto es lo que sucede microscópicamente cuando calentamos el gas, de modo que el flujo de energía de la pared hacia el gas aumenta la energía cinética promedio de las moléculas del gas, lo que macroscópicamente se manifiesta por un aumento de su temperatura.

Un preconcepto muy arraigado entre los alumnos es que el aumento de la energía cinética promedio de las moléculas implica necesariamente que las moléculas se «alejan» unas de otras y ocupan mayor volumen, extrapolando el comportamiento de la materia en estado sólido. Si el recipiente fuera de volumen constante, un calentamiento, al aumentar la energía cinética promedio de las moléculas, haría aumentar la presión del gas confinado, pero, en el caso que estamos analizando, el recipiente cuenta con un émbolo que se puede deslizar. Al aumentar instantáneamente la presión p , debido al aumento de la E_c (y, por lo tanto, de la temperatura T), se produce un estado de desequilibrio entre las presiones sobre ambas caras del émbolo, de modo que hay una fuerza neta hacia arriba que lo levanta aumentando el volumen y, por lo tanto, realizando trabajo. Por efecto de los choques contra una pared móvil, la velocidad media de las moléculas disminuye (Apéndice).

Esta disminución de la velocidad, y por consiguiente de la E_c , trae como consecuencia una disminución infinitesimal de la temperatura, que da lugar a que el gas continúe absorbiendo energía (calor) del baño que está a una temperatura mayor, a través de las paredes que son diatérmicas.

Este proceso continuará hasta que se logre el equilibrio térmico, que se alcanzará cuando el baño y el gas estén a la misma temperatura.

Esta explicación es, está claro, totalmente compatible con lo que expresa el primer principio de la termodinámica.

$$Q = W + \Delta U, \text{ donde } \Delta U = U_f - U_i$$

$$- \Delta U = W$$

La energía suministrada al gas permite incrementar la energía interna del mismo y realizar trabajo sobre el medio ambiente, ya que hay un aumento de la E_c media de las moléculas entre el estado inicial del gas y el estado final de equilibrio.

La expansión adiabática de un gas ideal

Es usual en la bibliografía analizar esta clase de procesos limitándolos a los que se producen en forma cuasiestática, y empleando las ecuaciones de Poisson o el primer principio para evaluar el trabajo realizado por el gas durante una expansión de este tipo.

En particular, los procesos adiabáticos son estudiados con cierto detalle por constituir dos de las etapas del motor ideal de Carnot, de gran importancia teórica. Sin embargo, los textos de física básica, en general, no discuten los procesos microscópicos que tienen lugar en el sistema.

Podemos dar una explicación batígena de la expansión adiabática cuasiestática, considerando el gas como un sistema de partículas confinado en un recipiente cilíndrico, cuyas paredes son aislantes térmicos, cerrado por un émbolo que se puede desplazar. Esto implica, macroscópicamente, que no hay intercambio de calor entre el sistema y el medio ambiente. Microscópicamente significa que, durante los choques entre las moléculas del gas y las de la pared, no hay, en promedio, intercambio de energía (como «calor»). Si la presión del gas es mayor que la del ambiente, se produce una expansión adiabática, porque aparece una fuerza neta que empuja el émbolo, desplazándolo.

¿Y qué ocurre con la velocidad de las moléculas que chocan contra una pared móvil? Como se demuestra en el apéndice, en el choque de una partícula con una pared móvil, como ocurre en una expansión, el módulo de la velocidad de la partícula después de «rebotar» contra la pared es menor que el módulo de la que tenía inicialmente. Al considerar todas las moléculas que chocan con el émbolo, en valores promedio, hay una disminución de la energía cinética media de traslación y, por lo tanto, de la temperatura del gas, que ha realizado un trabajo. O sea que, en forma simultánea, mientras disminuye la temperatura del gas y aumenta el volumen, reduciéndose el número de moléculas por unidad de volumen, se produce una disminución de la presión. El proceso continúa hasta que la presión del gas iguala la presión externa y se interrumpe la producción de trabajo. El resultado neto de este proceso es la realización de trabajo mecánico, y la disminución de la energía cinética media del gas o, lo que es lo mismo, de la energía interna del sistema por tratarse de un gas ideal.

De acuerdo con el primer principio de la termodinámica, se cumple que la disminución de la energía interna del gas es igual al trabajo realizado por éste sobre el ambiente durante la expansión:

CONCLUSIONES

En vista de la preferencia de los alumnos por las explicaciones de carácter batígeno y de la posibilidad de emplear este tipo de recurso didáctico, creemos que sería valioso utilizar en la instrucción este enfoque. Sin duda que significará un esfuerzo para el docente, pero opinamos que estará plenamente compensado por la mejor comprensión de los fenómenos y por la posibilidad de relacionar más fácilmente entre sí diferentes temas de la física aparentemente inconexos.

Otro aspecto que nos parece importante destacar es que en la propuesta presentada se valoriza la construcción y el uso de modelos, no como representaciones más o menos simplificadas de la realidad visible, sino como construcciones heurísticas que permiten interpretar y explicar fenómenos físicos dentro de los límites impuestos por el propio modelo.

Por otra parte, nuestra investigación muestra que los alumnos utilizan espontáneamente sus propios modelos para explicar los fenómenos y que dichos modelos no se corresponden con los aceptados por la comunidad científica. Por ello consideramos que durante el proceso de enseñanza se debe poner especial cuidado en las etapas de construcción del modelo, de explicitación de sus limitaciones y de su utilización, procurando que se produzca la evolución de las concepciones personales de los alumnos hacia las de la ciencia.

En este sentido, consideramos que un tratamiento como el propuesto para el estudio de las transformaciones termodinámicas de los gases puede ser una aportación interesante y extrapolable a otras tramas conceptuales de la física.

APÉNDICE

Partiremos de los conocidos resultados que expresan las velocidades que tienen dos cuerpos, de masas m y M , después de una colisión unidimensional perfectamente elástica (Roederer, 1964, p. 168):

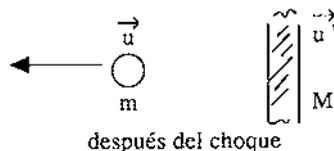
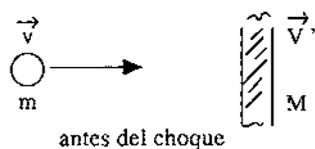
$$\vec{u} = \frac{m - M}{m + M} \vec{v} + 2 \frac{M}{m + M} \vec{v}' \quad (1); \text{ y}$$

$$\vec{u}' = \frac{M - m}{m + M} \vec{v}' + 2 \frac{m}{m + M} \vec{v} \quad (2)$$

donde v y v' , y u y u' son las velocidades de m y M respectivamente antes y después del choque.

Supongamos que m es la masa de una molécula de un gas confinado en un recipiente cerrado por un émbolo móvil de masa M , por lo que se cumple que $m \ll M$ y, por lo tanto, las expresiones 1 y 2 se reducen a:

$$\vec{u} = -\vec{v} + 2\vec{v}', \text{ y } \vec{u}' = \vec{v}', \text{ siendo } \vec{v}' \gg \vec{v}$$



Aquí se ve que, al chocar la molécula del gas con una pared móvil, su velocidad después del choque es diferente de la que tenía antes del choque. Si el émbolo se mueve en la misma dirección que la molécula (caso de una expansión del gas), la velocidad con que «rebota» la molécula es menor que la inicial y, por lo tanto, su energía cinética disminuye. Considerando todas las moléculas del gas, esto implica que la velocidad cuadrática media de las mismas disminuye.

En el caso de una compresión, la velocidad cuadrática media aumenta, porque la velocidad con que «rebotan» las moléculas es mayor que la inicial.

Si consideramos partículas que no inciden perpendicularmente a la pared, puede hacerse extensivo el resultado anterior, teniendo en cuenta que la velocidad v de cada molécula tendrá un componente v normal a la pared y componentes paralelas a ella. Estas últimas no se modificarán como resultado del impacto, mientras que para la componente normal es aplicable lo que se calculó para el caso de tener una colisión unidimensional. La consecuencia neta es que, si el módulo de alguna de las componentes de la velocidad de cada molécula aumenta o disminuye al impactar en una pared que se acerca o se aleja, la energía cinética media aumenta o disminuye y, por lo tanto, también lo hace temperatura del sistema.

(Para un tratamiento más riguroso, pero que escapa a los destinatarios de esta propuesta, consultar, por ejemplo, Alonso y Finn, Vol. I).

NOTA

Una versión preliminar de este trabajo fue presentada en la Octava Reunión Nacional de Educación en la Física (REF 8), realizada en Rosario, Argentina, en octubre de 1993, y está publicada en las Memorias.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALONSO, M. y FINN, E. (1976). *Física*, Vol. I y III. Bogotá: Fondo Educativo Interamericano, S.A.
- BROWN, D. (1992). Using Examples and Analogies to Remediate Misconceptions in Physics: Factors Influencing Conceptual Change. *Journal of Research in Science Teaching*, Vol. 29(1), pp. 17-34.
- CROMER, A. 1984. *Física para las Ciencias de la Vida*. Barcelona: Ed. Reverté.
- EASLEY, J.A. Jr. (1982). Naturalistic Case Studies Exploring Social-Cognitive Mechanisms and some methodological issues in Research on Problems of Teachers. *Journal of Research in Science Teaching*, Vol. 19(3), pp. 191-203.
- EISBERG, R. y LERNER, L. (1984). *Física*, Vol. II. Madrid: McGraw Hill.
- HALBWACHS, F. (1990). Historia de la Explicación en Física. Texto proporcionado por la Dra. Dibar Ure, C. en el Simposio Escuela realizado en Carlos Paz, Córdoba, Argentina, en octubre de 1990.
- MARTINAND, J.L. (1986). Enseñanza y aprendizaje de la modelización. *Enseñanza de las Ciencias*, 4(1), pp. 45-50.
- RESNICK, R. y HALLIDAY, D. (1981). *Física*, Parte I. Barcelona: CECSA.
- ROEDERER, J.G. (1963). *Mecánica Elemental*. EUDEBA.
- ROZIER, S. y VIENNOT, L. (1990). Students' reasoning in thermodynamics. *Tijdschrift voor Didactiek der β -wetenschappen*, 8(1), pp. 3-18.
- STROTHER, G.K. (1980). *Física Aplicada a las Ciencias de la Salud*. Buenos Aires: McGraw Hill Latinoamericana, S.A.
- TIPLER, P. (1978). *Física*, Vol. I. Barcelona: Ed. Reverté.

[Artículo recibido en marzo de 1995 y aceptado en mayo de 1996.]

