

## **DIFERENTES ENUNCIADOS DEL MISMO PROBLEMA: ¿PROBLEMAS DIFERENTES?<sup>1,2</sup>**

**(Different statements for the same problem: different problems?)**

**Laura Buteler** (\*, \*\*)

**Zulma Gangoso** (\*)

(\*) Becaria del Programa FOMEC- Física

(\*\*) Facultad de Matemática, Astronomía y Física

Universidad Nacional de Córdoba. Medina Allende y Haya de la Torre

Ciudad Universitaria, Córdoba (5000), Argentina

### **Resumen**

El presente estudio describe las acciones realizadas por 56 alumnos universitarios de la licenciatura de Biología cuando son enfrentados a la misma situación de termodinámica, la cual es presentada con enunciados en formatos diferentes. Los formatos de referencia corresponden a los que han sido usados en forma alternativa durante la instrucción. El análisis de la representación que guía el proceso de solución se realiza en términos de una concepción de cognición distribuida, en la que la representación externa es una parte indispensable del sistema representacional. Los resultados sugieren que estas acciones cambian cuando los sujetos son enfrentados ante distintos enunciados de la misma situación.

**Palavras-chave:** resolución de problemas; Termodinámica; representación externa

### **Abstract**

This study presents a description of students' actions after reading the statement for the same thermodynamic situation in different formats. University students of Biology were taken as an accidental sample (N=56). The formats employed are of the kind that the students usually work with during their instruction. The representational analysis is made by means of a distributed cognition approach that regards the external representation as an indispensable part of the representational system. Results show that certain characteristics of these statements can be related to the actions that the students undertake while they solve the problem.

**Key-words:** problem solving; thermodynamics; external representations

La cuestión representacional como formato del conocimiento es una de las más discutidas entre los interesados en estudiar los procesos puestos en juego por las personas al resolver un problema. El avance de la Ciencia Cognitiva en general, y de la Psicología Cognitiva en particular, nos enfrenta hoy ante numerosos formatos representacionales del conocimiento con distintas bondades y limitaciones, las que se manifiestan fundamentalmente, a la hora de explicar las acciones realizadas por un sujeto ante determinadas tareas. Una de las motivaciones principales de esta “explosión” representacional, es el supuesto que las personas, ante una tarea, construyen representaciones de ésta que orientan su actuación (Larkin, 1983; Markman, 1999).

---

<sup>1</sup> Trabajo parcialmente financiado por La Secretaría de Ciencia y Técnica de la Universidad Nacional de Córdoba y la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica.

<sup>2</sup> Resultados preliminares han sido presentados al V Simposio de Investigadores en Enseñanza de la Física.

Gran parte de estos estudios, han supuesto que las representaciones están exclusivamente en la mente (reglas o producciones, esquemas, imágenes mentales, redes conexionistas, modelos mentales, analogías) constituyendo parte del mundo representante, y que las representaciones externas, pertenecientes al mundo representado, constituyen el estímulo a partir del cual se construyen esas representaciones mentales o internas (por ej. ver Newell, 1990). Esta perspectiva ha sido, y posiblemente aún es, dominante en los trabajos de resolución de problemas, por lo que es considerada como la perspectiva clásica en esta área.

Sin embargo, algunas investigaciones muestran que el estímulo que constituye la representación externa puede tener un efecto decisivo en la actuación. En un estudio referido a las relaciones entre imágenes mentales e imágenes externas, Chambers y Reisberg (1985) muestran que las imágenes externas permiten a las personas acceder a ciertos conocimientos y habilidades que son inaccesibles desde las representaciones internas. Larkin y Simon (1987), analizan la eficiencia computacional de las representaciones diagramáticas concluyendo que éstas incluyen operadores capaces de reconocer e inferir información rápidamente en comparación con otro tipo de representaciones. Más recientemente, Kleinmuntz y Schkade (1993) en un trabajo de presentación de la información y toma de decisiones, mostraron que diferentes formatos representacionales (tablas, gráficos y listas) de la misma información pueden cambiar sustancialmente las decisiones de los sujetos. De este modo, la representación externa y el sistema perceptual comienzan a ocupar un lugar comparable al de las representaciones internas y el sistema cognitivo en el intento de explicar la actuación de las personas durante la resolución de un problema.

Zhang y Norman (1994) y Zhang (1997) proponen un marco teórico para el análisis de las representaciones externas involucradas en la resolución de problemas. Desde una perspectiva distribuida de la cognición, definen un espacio representacional distribuido entre el entorno y la memoria del sujeto, donde “viven” las representaciones externas e internas respectivamente, como partes indispensables de un mismo sistema. Este marco teórico ha sido utilizado por estos autores para explicar la actuación de las personas cuando realizan algunas tareas cognitivas, entre las que se encuentra la resolución de problemas lúdicos (como la torre de Hanoi).

La idea que subyace a este trabajo es explorar la posibilidad de extender los conceptos anteriores al ámbito de la resolución de problemas en Física. Es decir, estudiar si el enunciado de un problema debe ser considerado como una variable relevante en el proceso de solución, no sólo por la información que brinda sino también por la forma en que lo hace. El trabajo que se presenta, de carácter eminentemente descriptivo, muestra algunas regularidades en la actuación de alumnos universitarios cuando son enfrentados a una situación de termodinámica presentada bajo distintos formatos.

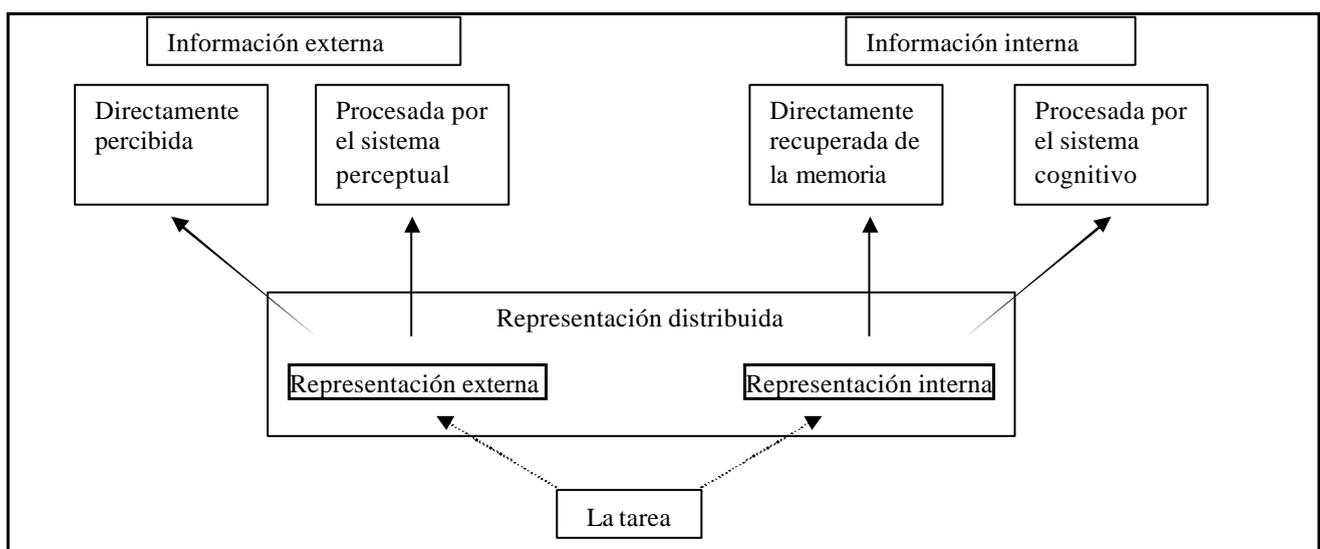
### **Supuestos teóricos**

Un supuesto básico de este estudio es que el sujeto, luego de leer el enunciado del problema, construye una representación que guía el proceso de solución. A diferencia de la perspectiva clásica en resolución de problemas, supondremos que la representación que guía el proceso de solución posee componentes tanto internas como externas (Zhang, 1997). La representación está entonces distribuida entre la memoria del sujeto y el entorno o componente externa de la tarea.

Desde la perspectiva de la cognición distribuida, las representaciones externas se definen como el conocimiento y la estructura del entorno de la tarea. Algunos elementos de estas representaciones externas son los objetos (un pistón, un cilindro, un gas), las dimensiones de los objetos (la presión, el volumen, la temperatura), y las reglas externas. Estas reglas externas son restricciones o relaciones incorporadas explícitamente en la configuración presentada. La información en las representaciones externas, puede ser registrada, analizada y procesada solamente por el sistema perceptual, aunque la participación del conocimiento conceptual desde las representaciones internas, puede facilitar o inhibir el procesamiento perceptual.

En contraste, las representaciones internas son el conocimiento y la estructura de la tarea en la memoria, ya sea en forma de proposiciones, producciones, esquemas, modelos, redes, u otras formas. La información en las representaciones internas puede ser recuperada desde la memoria únicamente por procesos cognitivos, aunque algunos rasgos en las representaciones externas pueden disparar ese proceso de recuperación. Los distintos tipos de representaciones (internas y externas) activan distintos tipos de operaciones (cognitivas y perceptuales) y no viceversa.

El supuesto clave de esta perspectiva es que las representaciones externas no necesitan ser re-representadas como modelos internos a fin de guiar el proceso de solución del problema. Estas representaciones externas pueden activar directamente operaciones perceptuales y proveer directamente información perceptual que, en conjunción con la información en la memoria, y las operaciones cognitivas provistas por las representaciones internas, determinan la actuación en la resolución de problemas. Si bien el producto final de la percepción es interno, este producto no coincide con la representación interna del problema. Así, las representaciones externas pasan a ocupar un lugar comparable al de las representaciones internas en el estudio de la resolución de problemas. Esta perspectiva permite estudiar de manera relativamente “aislada” a las representaciones externas y su participación en tareas que involucran operaciones cognitivas de alto nivel como la resolución de problemas. La figura 1 sintetiza las ideas anteriores.



**Figura 1:** Caracterización de la perspectiva distribuida de la cognición

Se considerará que el enunciado de un problema de Física constituye una representación externa de ese problema. La información externa presente en los enunciados puede ser directamente percibida, o bien puede activar operaciones perceptuales. Un ejemplo de información externa que requiere de procesamiento perceptual, son los enunciados de problemas verbales. Cuando los enunciados son presentados en forma de texto, es decir, a partir de sentencias escritas secuencialmente, la información relevante (posiblemente no datos numéricos) debe ser procesada por el sistema perceptual a fin de ser mantenida en la memoria de trabajo durante el proceso de solución (construyendo algún tipo de imagen de la situación). Muchas veces este proceso puede ser sumamente costoso, haciéndose necesario reiterar la lectura del enunciado y/o reescribir la información de manera más eficiente, en un formato en el cual la información externa pueda ser percibida directamente sin mediación de procesamiento perceptual (como diagramas, tablas, o gráficos de algún tipo).

En un ámbito de instrucción formal, la representación que guía el proceso de solución contiene información externa provista por la representación externa (enunciado) e información interna adquirida durante el período de instrucción, la que es provista por las representaciones internas. Luego, las acciones llevadas a cabo por los sujetos son producto de los procesos que actúan sobre la información presentada en el enunciado y del conocimiento específico recibido durante la instrucción

### **Análisis de los enunciados de los problemas**

Los tres enunciados base utilizados en este estudio, describen el mismo proceso físico, y están diseñados de modo tal que contienen referencia a las variables físicas relevantes para resolver el problema, constituyendo tres representaciones externas diferentes de la misma tarea. En cualquiera de las versiones consideradas, se describe un sistema físico constituido por un gas ideal que evoluciona desde un estado inicial hasta un estado final. El camino para llegar al estado final es una transformación adiabática, seguida de una transformación isocórica y de una transformación isotérmica, llegando a un estado idéntico al estado inicial. La demanda de la tarea consiste en el cálculo del trabajo realizado durante el proceso completo del gas ideal, conociendo el calor entregado al mismo en todo el proceso.

En el enunciado verbal (V), la información consiste en el volumen y temperatura inicial del gas, en el volumen alcanzado luego de una compresión adiabática, en la temperatura final luego de una transformación a volumen constante, y en el volumen del gas luego de una expansión isotérmica. En este caso, esta información debe ser procesada por el sistema perceptual.

#### Enunciado V

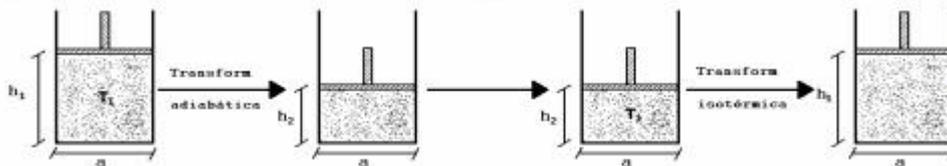
*Un cilindro contiene un gas ideal encerrado por medio de un pistón móvil. El gas se encuentra a temperatura  $T_1$ . El pistón comprime el gas adiabáticamente desde un volumen  $V_1$  hasta un volumen  $V_2$ . Manteniendo ese volumen constante, se espera suficiente tiempo hasta que todo el gas se encuentre nuevamente a temperatura  $T_1$ . En ese momento, se expande el gas isotérmicamente hasta el volumen  $V_1$ .*

*Si durante todo el proceso el gas entrega al medio 8 kcal, qué cantidad de trabajo se ha efectuado sobre el gas?*

El enunciado gráfico concreto (GC), contiene la misma información que el enunciado verbal, sólo que en este caso la información relevante puede ser directamente percibida, sin necesidad de mediación de operaciones perceptuales.

**Enunciado GC**

La figura muestra las transformaciones experimentadas por un gas ideal encerrado en un cilindro.

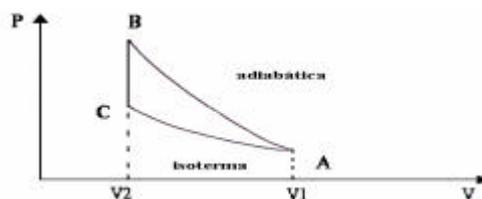


Si en el proceso completo el gas entrega 12 kcal, cuánto trabajo se ha efectuado sobre el gas ?

El enunciado gráfico abstracto (GA), involucra un sistema termodinámico que evoluciona en un espacio P-V, desde un estado inicial ( $P_1, V_1$ ), hasta un estado final idéntico al inicial. La información externa de volúmenes y temperaturas correspondiente a los dos enunciados descriptos anteriormente, es reemplazada por volúmenes y presiones, la cual puede ser percibida directamente. En este caso, se presenta explícitamente la relación funcional entre la presión y volumen durante todo el proceso. Esta representación externa, si bien incorpora otras dimensiones y reglas funcionales ausentes en los dos casos previos, se incorpora al estudio por ser uno de los formatos utilizados durante la instrucción, resultando de interés su comparación con los enunciados V y GC.

**Enunciado GA**

Un sistema termodinámico pasa por los estados A-B-C-A como indica la figura.



Si durante todo el proceso el sistema transfiere 12 kcal, calcule la cantidad de trabajo realizado sobre el sistema.

**Descripción de la experiencia: la muestra y la tarea**

La muestra está constituida por estudiantes de segundo año de la carrera de Biología, que al momento de la experiencia habían recibido instrucción formal en termodinámica clásica. El currículum de la asignatura contempla solamente el estudio de sistemas termodinámicos que involucran gases ideales en sistemas cerrados. Las clases teóricas y prácticas se organizan usualmente sobre la base de un apunte de la cátedra que contiene los conceptos teóricos y las guías de problemas correspondientes a cada unidad de la asignatura. Los enunciados de los

problemas resueltos por los alumnos durante su período de instrucción, fueron presentados alternativamente, y en proporciones similares, bajo la modalidad verbal y gráfica.

De un total de 115 alumnos, se formaron aleatoriamente seis grupos a quienes se les asignó, también aleatoriamente, tareas diferentes. En la medida que este estudio está centrado en los enunciados de problemas, se plantea una actividad inicial (actividad 1) que permite trabajar con sujetos en los que es plausible suponer un conocimiento de base común relativo a la tarea presentada.

La actividad inicial<sup>3</sup> (apéndice 1) es idéntica para todos los grupos y consiste en relacionar (unir con flechas) algunos conceptos de termodinámica, los cuales son, a su vez, los necesarios para realizar la segunda actividad.

La segunda actividad (actividad de resolución de problemas), está constituida por un conjunto de tres problemas. El primer y tercer problema, se presentan bajo alguno de los tres enunciados mostrados en la sección anterior, o una combinación de ellos que se muestran en el apéndice 2. El segundo problema (P2) consiste en levantar información a partir de la lectura de un gráfico extraído de un periódico. El gráfico se refiere a la variación de las ganancias de una reconocida cadena de supermercados en los primeros meses del año 2000 (apéndice 2).

Los objetivos de este segundo problema son dos: identificar los alumnos capaces de levantar información de un gráfico cartesiano (habilidad necesaria para interpretar un diagrama en el espacio P-V), y actuar como distractor entre el primer y último problema.

En síntesis, la actividad 2 para cada uno de los seis grupos se resume en el siguiente cuadro:

? <b>Grupo 1-</b> P1: enunciado verbal (V)- P2 - P3: enunciado gráfico concreto (GC)
? <b>Grupo 2-</b> P1: enunciado verbal - P2 - P3: enunciado gráfico abstracto (GA)
? <b>Grupo 3-</b> P1: enunciado gráfico concreto- P2 - P3: enunciado gráfico abstracto
? <b>Grupo 4-</b> P1: enunciado verbal- P2 - P3: enunciado gráfico concreto con gráfico abstracto
? <b>Grupo 5-</b> P1: enunciado gráfico concreto- P2 - P3: enunciado verbal con gráfico abstracto
? <b>Grupo 6-</b> P1: enunciado gráfico abstracto- P2 - P3: enunciado verbal con gráfico concreto

Se transcriben las instrucciones dadas por escrito a los alumnos al momento de realizar la segunda actividad:

*Esta actividad consiste en un conjunto de problemas que resolverás en la medida que puedas y recuerdes. Los resultados de esta tarea sólo tienen validez a efectos de formar parte de un estudio que estamos realizando un grupo de investigadores en enseñanza de la Física en el área de resolución de problemas. Por ese motivo, te pedimos que respondas a las cuestiones planteadas con la mayor honestidad posible y de la manera más detallada y explícita que puedas. **SI DURANTE LA RESOLUCIÓN HUBIERA ALGUNAS CUESTIONES QUE NO RECUERDES O QUE NO SABES, LO ACLARAS DETALLADAMENTE Y SIGUES AL PRÓXIMO PUNTO. ES SUMAMENTE VALIOSO PARA NOSOTROS CONTAR CON ESA INFORMACIÓN.** Gracias por tu colaboración.*

<sup>3</sup> Dada la instrucción recibida por estos alumnos, la actividad 1 debe entenderse solo para gases ideales y sistemas cerrados.

Los registros del estudio consisten en las tareas escritas realizadas por los alumnos. Se analiza la producción del sujeto considerando la presencia/ausencia de las siguientes acciones: recuperar la información presentada en el enunciado, inferir otra información a partir de la presentada explícitamente y utilizar esa información para contestar la pregunta planteada en el problema.

Si bien el instrumento utilizado para recolectar los datos es intrínsecamente limitado, algunos resultados sugieren interesantes directrices.

## **Resultados**

### **a) Del grupo completo**

Si bien la resolución de un problema involucra procesos cognitivos complejos, la actividad 1 y el segundo problema P2 presentados a todos los grupos, intentan restringir el estudio a aquellos sujetos que muestran suficiencia en el reconocimiento de procesos termodinámicos básicos y en levantar información desde un gráfico cartesiano. En la totalidad de los registros analizados (N=115), las respuestas a las preguntas planteadas en el problema P2 fueron correctas, por lo que se supone que la totalidad de los sujetos involucrados posee la habilidad de leer información de un gráfico cartesiano que relaciona información en términos cotidianos. La actividad 1 presenta otra situación. Sólo 56 alumnos realizan satisfactoriamente la actividad 1 (100% de acierto), reduciéndose a esta cantidad el número de registros analizados en este estudio. Se recuerda que la actividad 1 requiere relacionar algunos conceptos de termodinámica necesarios para resolver el problema presentado. Sobre este total (N=56), el 21% de los sujetos no son capaces de producir nada luego de la lectura de los enunciados correspondientes a los problemas P1 y P3. En la mayoría de los casos dicen no recordar las fórmulas necesarias para resolver el problema, o bien no recordar el tema.

Este resultado es consistente con resultados previos en el área, en particular con aquellos relacionados con la problemática de la transferencia del conocimiento (Thompson, Gentner y Loewenstein, 2000; Loewenstein, Thompson y Gentner, 1999; Bransford, Brown y Cocking, 1999). En general, estos estudios indagan acerca de los tipos de experiencias de aprendizaje que facilitan la transferencia de lo aprendido a nuevos contextos, sean éstos cotidianos o escolares. En particular, la actividad de resolución de problemas en áreas específicas de conocimiento, requiere de herramientas cognitivas que van más allá de la capacidad de reconocer y relacionar adecuadamente los conceptos necesarios para resolverlos. Los resultados de la actividad 1 muestran que el 21% de los sujetos que identifican relaciones entre los conceptos involucrados en la primera ley de la termodinámica (relevantes para resolver el problema), se ven imposibilitados de transferir ese conocimiento para resolver el problema. Ellos justifican su incapacidad de hacer algo, diciendo que “no recuerdan las fórmulas” o que “no recuerdan el tema”, aún cuando la actividad 1 no lo refleja. Aparentemente buscan recuperar información directamente desde su memoria para abordar el problema, y fracasan en el intento.

### **b) De cada uno de los grupos**

Como se expresó en el apartado anterior, 12 de los 56 sujetos participantes del estudio, no produjeron nada luego de leer los dos enunciados de los problemas P1 y P3. Estos 12

registros fueron excluidos de los análisis que se realizan de aquí en adelante, quedando un total de 44 registros disponibles.

A fin de comparar las producciones de los alumnos ante distintos tipos de enunciados, se presentan resultados de estas producciones correspondientes a cada uno de los grupos descriptos en el cuadro de la sección *la muestra y la tarea*. Con el propósito de comparar las producciones de los sujetos cuando son enfrentados ante enunciados gráficos o verbales en su forma pura (sin estar acompañados de otra modalidad), sólo se presentan y analizan resultados correspondientes a los grupos 1, 2 y 3 (ver recuadro en *la muestra y la tarea*).

Se analizan las acciones llevadas a cabo por los sujetos en términos de la información que utiliza para resolver el problema.

**Tabla 1:** Reconocimiento de los problemas P1 y P3

	Resuelve P <sub>1</sub> y P <sub>3</sub> con la misma información	No resuelve P <sub>1</sub> y P <sub>3</sub> con la misma información
Grupo 1	25%	75%
Grupo 2	30%	70%
Grupo 3	22%	78%

En el grupo 1, el 25% de los sujetos infiere y utiliza exactamente la misma información para resolver el problema 1 (enunciado V) y el problema 3 (enunciado GC), mientras que el 75% restante no lo hace. Este resultado podría interpretarse como que el 25% de los sujetos reconoce la misma tarea a partir de dos representaciones externas diferentes. Una situación similar se observa en el grupo 2. Allí, el 30% de los sujetos reconocería los problemas como iguales, quedando un 70% de sujetos que no lo hacen. Para el grupo 3 los porcentajes anteriores son del 22% y 78% respectivamente.

Aparentemente, en los tres grupos, una importante mayoría percibe problemas distintos. Las variables perceptuales (externas) presentes en el enunciado parecen relevantes a la hora de actuar. Este resultado constituye un punto de partida para estudiar posibles variables de la representación externa que pudieran influir en la comprensión de un enunciado de un problema.

En segundo lugar, teniendo en cuenta que la utilización de la primera ley de la termodinámica es una acción relevante para abordar el problema y que, de acuerdo al marco teórico utilizado, es la representación la que llama a los operadores y no viceversa, resulta de interés analizar en qué proporción, diferentes representaciones externas disparan la utilización de esta ley para resolver los problemas 1 y 3. Por este motivo, se exceptúan aquellos registros de sujetos que actúan de manera idéntica (25%, 30% y 22% para los grupos 1, 2 y 3 respectivamente). Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 2.

**Tabla 2:** Incorporación de la primera ley en la resolución de los problemas P1 y P3

	Sí P1, sí P3	Sí P1, no P3	No P1, sí P3	No P1, no P3
Grupo 1	0%	0%	45%	55%
Grupo 2	0%	0%	50%	50%
Grupo 3	42%	0%	29%	29%

En el grupo 1, el 45% de los sujetos que aplican la primera ley de la termodinámica para inferir información en el problema 3 (GC), no la aplican para inferir información en el problema 1 (V). En ningún caso ocurre lo contrario, es decir, aplicar la primera ley en el P1 y no hacerlo en el P3. En cuanto al 55% restante, no aplican esta ley en ninguno de los dos problemas.

Una situación similar se encuentra en el grupo 2. Allí, el 50% de los sujetos que aplica la primera ley para inferir información en el P3 (GA), no la aplican para hacerlo en el P1 (V), y el porcentaje es nulo para el caso inverso. El decir, ningún sujeto utiliza la primera ley ante el formato verbal y no lo hace ante el formato gráfico. El 50% restante no utiliza esta ley en ninguno de los dos problemas.

Tanto para el grupo 1 como para el grupo 2, concluimos que en ninguno de los casos considerados los sujetos aplican la primera ley de la termodinámica para resolver el problema 1 (correspondiente al enunciado verbal en ambos casos). Esto puede observarse en la tabla 2, donde el porcentaje de sujetos que aplican esta ley para resolver el problema 1 es nulo. Sin embargo, el porcentaje de sujetos que utilizan esa ley en el problema 3 es del 45% y 50% para los grupos 1 y 2 respectivamente. Ante enunciados gráficos, los sujetos aplican la primera ley de la termodinámica en mayor proporción que ante enunciados verbales.

En el grupo 3 ambos problemas son gráficos: el problema 1 con el enunciado GC y el problema 3 con el GA. Allí, un 29% de sujetos que aplican la primera ley en P3 no la aplican en P1. En ningún caso ocurre lo contrario, es decir, que apliquen esta ley en P1 y no en P3. La proporción de los sujetos que no aplican esta ley en ninguno de los dos problemas es del 29%, quedando un 42% de alumnos que utilizan la primera ley en ambos problemas (sin reconocerlos como iguales ya que estos casos fueron excluidos anteriormente).

Para este grupo, los resultados muestran otra tendencia. Aquí, un 42% de los sujetos aplica la primera ley para resolver el problema 1 (GC) y un 71% de sujetos la aplica para resolver el problema 3 (GA), de modo que la diferencia es levemente menor que la encontrada para los dos primeros grupos.

### **c) Otros resultados complementarios**

Las comparaciones que se realizan en este apartado, intentan dar cuenta de la posible interferencia entre los tres enunciados base (V, GC y GA) cuando se combinan para formar un único enunciado (ver apéndice 2).

El 75% de los sujetos enfrentados al enunciado verbal sin estar acompañado de ningún tipo de gráfico (provenientes de los grupos 1, 2 y 4), realiza algún gráfico antes de comenzar a resolver. Dentro de este porcentaje, un tercio de ellos son gráficos concretos involucrando cilindros, y los dos tercios restantes son diagramas P-V. Por otra parte, los sujetos que se enfrentan a un enunciado que contiene algún gráfico, no realizan ningún otro tipo de gráfico antes de empezar a resolver el problema.

Aparentemente, la estrategia de reescribir la información presentada verbalmente en forma gráfica resulta eficiente al momento de extraer información del enunciado del problema.

Por otra parte, el 70% de los sujetos enfrentados a enunciado gráfico concreto puro sin estar acompañado de otro gráfico o enunciado verbal (provenientes de los grupos 1, 3 y 5), no

involucra al proceso isocórico en su producción. Aparentemente, para ellos, ese proceso no constituye un cambio relevante en el estado del gas o bien no lo advierten. Cuando el enunciado GC está acompañado de un enunciado V o un enunciado GA (provenientes de los grupos 4 y 6), el porcentaje resultante es 30%. Romina del grupo 3, omite la aplicación de la primera ley de la termodinámica en el proceso isocórico, aún cuando la aplica en los otros dos procesos:

*Transformación adiabática  $Q = 0$ , entonces  $?U = -W$*   
*Transformación isotérmica  $T = \text{constante}$ ,  $?U = 0 = Q - W$*   
*En la transformación adiabática, el sistema no recibe calor pero realiza trabajo (1)*  
*En la transformación isotérmica todo el calor recibido es usado para realizar trabajo (2)...*  
(cada una de las expresiones matemáticas son escritas también debajo del dibujo de los pistones debajo de las flechas que indican las transformaciones)

Natalia del grupo 6 incorpora explícitamente el proceso isocórico en su producción:

*En la transformación adiabática  $Q = 0$  y  $?U = -W$ ; en la transformación de volumen constante  $W = 0$  y  $?U = Q$ . En la última  $T = \text{cte}$ ,  $?U = 0$  y  $Q = W$ ...*  
(repite estas expresiones matemáticas debajo de las flechas que representan las transformaciones en el gráfico concreto)

El reconocimiento del proceso isocórico en un enunciado gráfico concreto parece estar relacionado con la presencia adicional de sentencias verbales (grupo 6) o de un gráfico cartesiano de presión vs volumen (grupo 4). Una posible interpretación es atribuir este hecho a la familiaridad de los alumnos con los gráficos cartesianos P-V durante el período de instrucción. Como se ha descrito anteriormente, los alumnos utilizan durante su instrucción apuntes elaborados por la cátedra, donde se desarrollan los contenidos teóricos de manera muy similar a los libros de textos usualmente utilizados para desarrollar contenidos de termodinámica elemental para los primeros cursos de la Universidad.

## Conclusiones y perspectivas

Los resultados anteriores sugieren alguna relación entre el formato del enunciado de un problema y las acciones llevadas a cabo por los sujetos en el intento de resolverlo. En primer lugar, la tabla 1 muestra un marcado efecto representacional ya que los alumnos “ven” problemas diferentes en las versiones verbal, gráfico abstracto, y gráfico concreto, siendo que todos ellos describen la misma situación. Este efecto representacional está documentado en la literatura de resolución de problemas en tareas lúdicas o cotidianas en las que no se requiere de instrucción formal para realizarlas (para una revisión ver Zhang, 1997). En este sentido, este resultado constituye una evidencia a favor de la existencia de este efecto en un ámbito de instrucción formal en Física.

En segundo lugar, la tabla 2 permite comparar los porcentajes de los sujetos que aplican una ley que es relevante para abordar el problema, en cada una de sus tres versiones. La utilidad de la primera ley reside, fundamentalmente, en la posibilidad de inferir información implícita a partir de la información explícita. Los porcentajes indican que la aplicación de la primera ley de la termodinámica es considerablemente más frecuente ante los enunciados gráficos, por lo que concluimos que estos enunciados (donde la información es directamente percibida) favorecen la aplicación de una ley relevante si se los compara con el enunciado verbal (información que debe ser procesada por el sistema perceptual). A pesar de que los alumnos podrían estar

familiarizados con el enunciado GA, y a eso deberse el llamado a utilizar la primera ley de la termodinámica, este resultado resulta particularmente sugestivo para el caso del enunciado GC.

En virtud de lo expuesto en el apartado c) de los resultados, podemos decir que la representación externa en cualquiera de sus dos versiones gráficas, constituye una manera eficiente de extraer información contenida en el enunciado verbal. Enfrentados a enunciados verbales, los sujetos eligen preferentemente la modalidad gráfica para “traducir” la información verbal (información a ser procesada por mecanismos perceptuales) en información que puede ser directamente percibida. Sin embargo, esta acción de traducir información verbal a gráfica no se ve acompañada de otras acciones relevantes para resolver el problema. Este resultado indicaría que esta traducción no está relacionada con el éxito de la tarea, sino que sólo cumple la función más usual atribuida a las representaciones externas: ellas extienden la memoria de trabajo formando archivos permanentes y permitiendo a la memoria ser compartida con otro tipo de información.

Por último, con respecto a la ausencia del proceso isocórico en las producciones de los alumnos cuando resuelven a partir de un enunciado gráfico concreto, este resultado sugiere un marcado efecto representacional, del que no se ha podido dar cuenta bajo el análisis de enunciados realizados en este estudio. No obstante, teniendo en cuenta que todos los sujetos participantes del estudio pueden ser considerados como novatos en el área de conocimiento relativa al problema presentado, este resultado coincide con los encontrados por Chi et al (1981), según los cuales, los novatos al categorizar problemas, atienden a la estructura superficial, a diferencia de los expertos que lo hacen atendiendo a la estructura profunda del mismo. En nuestro caso, la estructura superficial del enunciado gráfico concreto estaría asociada a la información directamente percibida, según la cual, no hay cambio en el volumen del gas, mientras que la estructura profunda tendría en cuenta los cambios de temperatura y presión del mismo. Consideramos que un avance en ese análisis podría arrojar algunas respuestas.

Las conclusiones anteriores deben ser interpretadas dentro del marco descriptivo y exploratorio del estudio. Es intención de los autores tomar estos resultados como líneas directrices de estudios futuros (posiblemente explicativos) orientados a profundizar sobre la relación entre las representaciones externas y la resolución de problemas en Física, en el marco de la cognición distribuida.

## **Bibliografía**

BRANSFORD, J., BROWN, A. Y COCKING, R. (Eds), 1999. *How people learn*. National Academy Press, Washington, D. C.

CHAMBERS D. Y REISBERG, D., 1985. Can mental images be ambiguous? *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance*, 19(3), 531-548.

CHI, M., FELTOVICH, P., Y GLASER, R., 1981. Categorization and representation of physics problems by experts and novices. *Cognitive Science*, 5, 121- 152.

KLEINMUNTZ D. N. Y SCHKADE D. A., 1993. Information displays and decision processes. *Psychological Science*, 4(4), 221-227.

LARKIN, J., Y SIMON, H., 1987. Why a Diagram is (Sometimes) Worth Ten Thousand Words. *Cognitive Science*, 11, 65- 99.

LARKIN, J., 1983. The role of problem representation in physics. En Gentner, D. and Stevens, A. (Eds). *Mental Models*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

LOEWENSTEIN, J., THOMPSON, L. Y GENTNER, D., 1999. Analogical encoding facilitates knowledge transfer in negotiation. *Psychonomic Bulletin & Review*, 6(4), 586-597.

MARKMAN, A., 1996. *Knowledge Representation*. Lawrence Erlbaum Associates.

NEWELL, A., 1990. *Unified Theories of cognition*. Cambridge, MA: Harvard University Press.

THOMPSON, L., GENTNER, D Y LOEWENSTEIN, J., 2000. Avoiding Missed Opportunities in Managerial Life: Analogical Training More Powerful Than Individual Case Training. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, 82(1), 60-75.

ZHANG, J. Y NORMAN, D., 1994. Representations in Distributed Cognitive Tasks. *Cognitive Science*, 18, 87- 122.

ZHANG, J., 1997. The Nature of External Representations in Problem Solving. *Cognitive Science*, 21 (2), 179- 217.

Recebido em 06.12.2000

Revisado em 06.09.2001

Aceito em 23.12.2001

## Apéndice 1

Te pedimos que unas con flechas los **bloques listados a la izquierda con bloques ubicados a la derecha** en función a lo que conoces.  
Nuevamente, gracias por tu colaboración.

**Apéndice 2**

**Problema 3 presentado al grupo 4**

Enunciado Gráfico concreto con Gráfico abstracto

La figura 1 muestra las transformaciones experimentadas por un gas ideal encerrado en un cilindro. Los sucesivos estados por los que pasa el sistema han sido representados en el diagrama correspondiente a la figura 2.

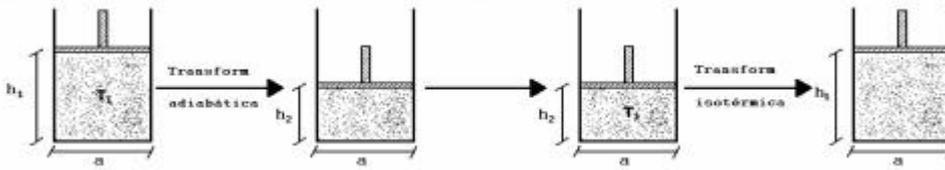


Figura 1

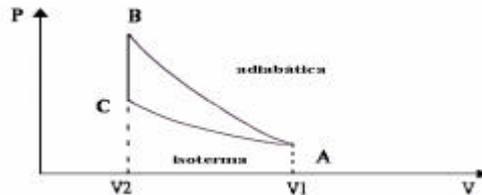


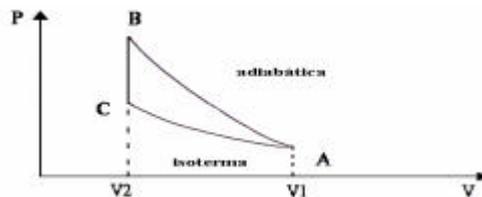
Figura 2

Si en el proceso completo el gas entrega 12 kcal, cuánto trabajo se ha efectuado sobre el gas ?

**Problema 3 presentado al grupo 5**

Enunciado verbal con gráfico abstracto

Un cilindro contiene un gas ideal encerrado por medio de un pistón móvil. El gas se encuentra a temperatura  $T_1$ . El pistón comprime el gas adiabáticamente desde un volumen  $V_1$  hasta un volumen  $V_2$ . Manteniendo ese volumen constante, se espera suficiente tiempo hasta que todo el gas se encuentre nuevamente a temperatura  $T_1$ . En ese momento, se expande el gas isotérmicamente hasta el volumen  $V_1$ . El siguiente diagrama muestra las sucesivas transformaciones experimentadas por el sistema.

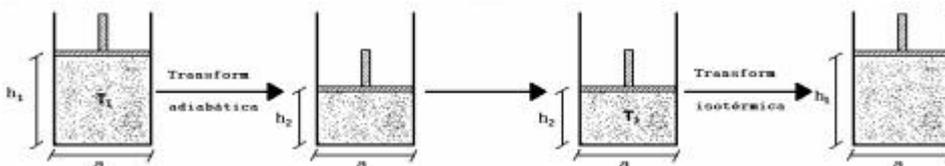


Si durante todo el proceso el gas entrega al medio 8 kcal, qué cantidad de trabajo se ha efectuado sobre el gas?

**Problema 3 presentado al grupo 6**

Enunciado verbal con gráfico concreto

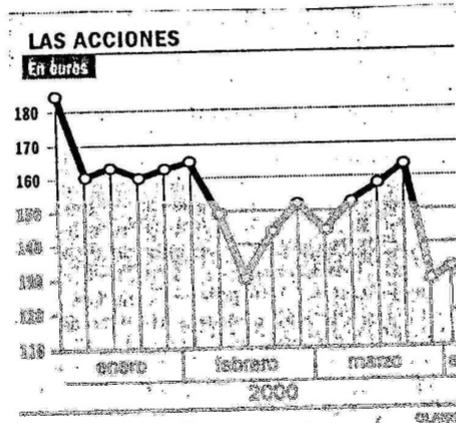
Un cilindro contiene un gas ideal encerrado por medio de un pistón móvil. El gas se encuentra a temperatura  $T_1$ . El pistón comprime el gas adiabáticamente desde un volumen  $V_1$  hasta un volumen  $V_2$ . Manteniendo ese volumen constante, se espera suficiente tiempo hasta que todo el gas se encuentre nuevamente a temperatura  $T_1$ . En ese momento, se expande el gas isotérmicamente hasta el volumen  $V_1$ . La situación planteada se muestra en la figura.



Si durante todo el proceso el sistema transfiere 12 kcal, calcule la cantidad de trabajo realizado sobre el sistema.

**Problema 2**

El siguiente gráfico ha sido extraído del diario Clarín, y corresponde al valor de las acciones del supermercado Carrefour durante los tres primeros meses del año 2000.



- 3- En que meses se han alcanzado el mayor y el menor valor para las acciones del reconocido supermercado?
- 4- Entre qué valores aproximados han oscilado las acciones en el mes de marzo?