

LA CONSTRUCCIÓN DE LA REPRESENTACIÓN EN LA RESOLUCIÓN DE UN PROBLEMA DE FÍSICA ^{1,2}

(The construction of the representation in solving a physics problem)

Enrique A. Coleoni ^(a,c) [enrique@quechua.fis.uncor.edu]

José C. Otero ^(b)

Zulma E. Gangoso ^(a)

Víctor H. Hamity ^(a)

(a) Facultad de Matemática, Astronomía y Física. Univ. Nac. de Córdoba - Argentina, Ciudad Universitaria, 5000 – Córdoba, Argentina

(b) Departamento de Física, Universidad de Alcalá, 28871 Alcalá de Henares, España

(c) Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas. Argentina (Becario posdoctoral)

tel: 54 351 4334051

fax: 54 351-4334054

Resumen

Se analizan las resoluciones escritas de un problema de física, correspondientes a alumnos de nivel medio, participantes de una Olimpiada de Física. El estudio se hace sobre la base de desarrollos teóricos que tienen en cuenta características propias de la comprensión de textos de enunciados de problemas científicos. Se tipifican algunos errores encontrados vinculándolos a fallos en diferentes niveles del proceso de representación. Se propone una categorización que sugiere la posibilidad de reinterpretar algunos errores cometidos por alumnos de física ante la actividad de resolución de problemas.

Palabras-clave: resolución de problemas en Física; comprensión de textos; representación.

Abstract

Written solutions of a physics problem provided by high school students in a physics olympiad are analysed. The study was done on the basis of theoretical developments which take into account peculiarities of the understanding of scientific problems. Some errors are typed according to failures at different levels of the representation process. A categorization is proposed suggesting the possibility of reinterpreting some mistakes made by physics students in problem solving.

Key-words: problem solving in physics; text comprehension; representation.

Introducción

La resolución de problemas es un tema de interés tanto para la investigación educativa como para la práctica profesional de la enseñanza. Se pueden encontrar reportes

¹ Este trabajo ha sido parcialmente financiado con fondos de la Secretaría de Ciencia y Técnica de la Universidad Nacional de Córdoba y la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica.

² Algunos resultados preliminares de este estudio fueron presentados en el V Simposio de Investigadores en Educación en Física, Santa Fe, Argentina, Octubre 2000.

de su estudio desde hace más de 50 años. Polya (1945) desarrolla una propuesta didáctica en la que distingue diferentes etapas en la resolución de un problema: *comprensión del problema, concepción de un plan, ejecución del plan y reflexión y evaluación*. Esta formulación secuencial fue expuesta sobre la base de observaciones de un conjunto de sujetos que resolvían problemas de matemática. Estas fases han sido consideradas como estrategias generales de resolución independientes del contenido del problema.

A partir de la incorporación del contenido específico como factor relevante en la resolución de problemas, se desarrolla una exitosa línea de investigación basada en el estudio de las diferencias entre expertos y novatos (Reif, Larkin y Bracket, 1976; Larkin, Mc Dermot, Simon y Simon, 1980). Por ejemplo, Mc Dermot, Simon y Simon (1980) describieron algunas de las diferencias entre expertos y novatos en el proceso de resolución de problemas de física. Encontraron, en primer lugar, que los expertos emplean tiempos menores al 25% del tiempo que emplean los novatos y cometen menos errores, resultados que difícilmente pueden sorprender. Además, la mayoría de los novatos trabajan en una modalidad que denominan “hacia atrás” (backward), es decir, parecen necesitar metas y sub-metas parciales para encaminar su proceso de resolución. Los novatos se detienen en cada paso de la resolución para preguntarse cómo continuar y encuentran respuesta en las ecuaciones que ya han escrito despejando de éstas la información que les falta. Asimismo, los novatos parecen guiarse por las ecuaciones, mientras que los expertos tratan de crear una “representación física” del problema. Es importante destacar que los problemas utilizados en ese estudio involucraban problemas simples de cinemática. Como señalan los mismos autores, pueden haber resultado demasiado simples para los expertos, de modo que éstos pudieran haber “pensado mucho más rápido de lo que hablaban”, perdiendo así información en los registros.

En otro trabajo llevado a cabo por Larkin (1983) se compara nuevamente el comportamiento de expertos y novatos, con la diferencia que los problemas planteados a los expertos se eligieron de manera que plantearan dificultades serias. En este caso, el resultado más importante es que los expertos intentan una solución sólo después de haber logrado construir una representación física del problema.

Buteler, Gangoso, Brincones y González (2001) han estudiado algunas condiciones bajo las cuales se generan diferentes representaciones. Las autoras exploran diferencias en las actuaciones de sujetos en relación a demandas de tipo cualitativas o cuantitativas y su relación con la incorporación de ecuaciones en la solución.

Considerando que el proceso de resolución de problemas comienza en la lectura del enunciado, resulta de interés avanzar en la descripción de ciertos aspectos de las representaciones que genera un resolvidor, sobre la base de desarrollos teóricos que tengan en cuenta características propias de la comprensión de textos de enunciados de problemas científicos. De este modo, se propone abordar el análisis de la resolución de problemas desde una perspectiva que pretendemos resulte complementaria de las anteriores.

Se presenta un estudio que explora algunas características de las producciones de alumnos secundarios, interpretadas a la luz de una propuesta de Nathan, Kinstch y Young (1992) desarrollada para problemas de álgebra.

Niveles de representación de un texto y de un problema

Muchos modelos de comprensión del discurso distinguen tres niveles en la representación de un texto en la memoria: el *nivel superficial*, la *base de texto* y el *modelo de la situación* (Van Dijk y Kintsch, 1983; Johnson-Laird, 1983; Just y Carpenter, 1987; Kintsch, 1998). El nivel superficial corresponde a la formulación exacta del texto con las mismas palabras y estructura sintáctica de éste. Esta es una representación que pervive poco tiempo en la memoria y tiene menos interés para nuestros propósitos. El segundo nivel de representación es la base de texto, que consiste, en esencia, en la representación del significado del texto en forma de proposiciones. Por tanto, refleja las relaciones semánticas expresadas en el texto mediante el lenguaje. Debe notarse que la base de texto corresponde al significado ligado directamente al texto, con mínima participación de los conocimientos del lector. Ello quiere decir que las proposiciones en este nivel de representación se originan directamente del texto. Sin embargo, en general, el resultado de la comprensión de un texto incluye información adicional proveniente de los conocimientos del lector. Se distingue así, un tercer nivel de representación que incorpora, además, otras proposiciones provenientes de la memoria del lector, es decir de su base de conocimientos. Esta es una representación de la situación a la que se refiere el texto y por eso se denomina modelo de la situación. Consiste “en la representación que hace el lector del mundo al que se refiere el texto (Just y Carpenter, op. cit., p.195)”. En el caso de los enunciados de un problema de física, entre los conocimientos previos que el lector debe poner en juego se encontrarán los correspondientes a la disciplina, generalmente expresados mediante relaciones formales.

Nathan, Kinstch y Young (1992) llevan a cabo un estudio con enunciados de problemas de álgebra, en el que argumentan que este conocimiento formal es recuperado por el sujeto en la forma de lo que dan en llamar “esquemas de problema”. Este conjunto de esquemas algebraicos constituye la base explícita que guía la construcción de un modelo situacional construido con las relaciones formales en mente. En estos casos, los autores llaman a la representación así generada “*modelo de problema*”. Para el caso de enunciados de problemas de física, los esquemas de problema corresponden a las leyes físicas, con su expresión formal.

Al leer un enunciado de un problema de física, la posibilidad de un sujeto de construir un modelo de la situación que represente el evento en términos cotidianos, u otro que involucre las relaciones formales de manera estructural, dependerá del conjunto de esquemas disponibles (calidad y cantidad) y de las estrategias de recuperación. En el primer caso, la representación habilitará al sujeto a realizar solamente predicciones de tipo cualitativo, posiblemente involucrando también concepciones ingenuas. En cambio, en el segundo, el sujeto tendrá posibilidades de realizar predicciones tanto cualitativas como cuantitativas y habrá generado un “modelo de problema”. El modelo de problema no contiene necesariamente datos numéricos, pero habilita incorporarlos. La persona que se propone resolver un problema de física deberá generar un modelo de problema en su intento de solución, ya que de esta manera podrá incorporar y llevar a cabo las operaciones formales necesarias para dar respuesta a las demandas de solución. Teniendo en cuenta el papel relevante de los esquemas de problema, y la diferente disponibilidad en cantidad y calidad de un sujeto a otro, resulta plausible suponer que el modelo de la situación y el

modelo de problema corresponden a casos extremos de un conjunto de posibilidades. En cualquier caso, ante la demanda expresa de resolución de un problema de física, es posible suponer que la producción de un sujeto con instrucción formal en física reflejará algunas características relevantes de la representación generada.

En este trabajo se analizan un conjunto de soluciones de un problema bajo la suposición de que la persona que intenta resolverlos debe construir una base de texto y un modelo del problema para poder abordar la solución del mismo. La potencia del modelo de problema generado para guiar el proceso de resolución, estará directamente vinculada con la significatividad situacional con que incorpore sus esquemas de problema.

El propósito del estudio es describir las resoluciones de un problema de física de estudiantes secundarios y analizar la posibilidad de interpretar los fallos encontrados como indicios de deficiencias en la construcción de la representación que guía el proceso de resolución.

Método

El estudio llevado a cabo es de carácter exploratorio. Si bien el hecho de realizar el análisis sobre problemas ya resueltos introduce limitaciones metodológicas, resulta plausible suponer que la producción escrita de los sujetos da indicios de la representación que guió tal producción (Buteler et al, op. cit., Greca y Moreira, 1998). En consecuencia, se supone que los errores en las resoluciones escritas puedan estar de algún modo vinculados a fallos en la representación generada por el sujeto durante el proceso de resolución.

Se utilizó un conjunto de soluciones de un problema de lápiz y papel realizadas por alumnos de enseñanza secundaria, de entre 16 y 18 años de edad, en ocasión de la instancia nacional de las Olimpiadas Argentinas de Física. Todos estos estudiantes habían superado previamente al menos una instancia de selección. El número total de alumnos que participaron del evento fue de 80, pero se analizaron solamente las soluciones de 56 alumnos ya que no todos habían intentado la solución. El enunciado del problema analizado se muestra en la Tabla 1.

La situación descrita en el enunciado y el modelo de problema asociado

La situación planteada en el enunciado del problema corresponde a un líquido que recibe energía y, en un proceso dinámico, modifica su temperatura desde un estado inicial a otro final. La energía se entrega mediante un calentador eléctrico de inmersión, caracterizado por su resistencia eléctrica. El texto advierte que parte de la energía entregada por el calentador “se pierde” y que se pretende alcanzar una temperatura final determinada. Se requiere encontrar el tiempo que debe durar este proceso. A partir de esta descripción básica, el resolutor debe poner en juego sus conocimientos específicos y estrategias para generar un modelo de problema. En este proceso necesita vincular esta descripción con relaciones físicas formales.

TABLA I: El problema analizado

Problema: Tomemos un buen mate

Un señor decidió tomar mate. En un recipiente colocó un litro de agua a 20°C y sumergió en ella un calentador eléctrico conectado a 220 V . Como deseaba calentar el agua hasta una temperatura de 80°C exactamente (porque la considera óptima para tomar mate) calculó el tiempo necesario para alcanzarla, para lo cual midió la resistencia del calentador sumergido en el agua y obtuvo $R = 38?$.

- a) Sabiendo que el recipiente utilizado “pierde” el 20% de la energía que se le entrega, ¿cuánto tiempo dejó el señor el calentador conectado a la línea de 220 V para que la temperatura del agua llegue a los 80°C deseados? (el calor específico del agua es $c = 1\text{ cal/g }^{\circ}\text{C}$)

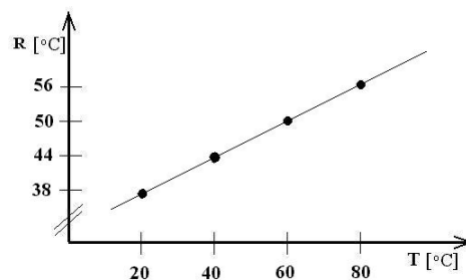
Grande fue la sorpresa cuando al cabo del tiempo calculado comprobó que la temperatura del agua era menor que 80°C . Midió entonces nuevamente R con el calentador sumergido en el agua caliente y comprobó que ésta había aumentado. Para mejorar sus cálculos midió nuevamente la resistencia del calentador a tres temperaturas diferentes y sobre la base de esas mediciones supuso que entre 20°C y 40°C , $R = 38?$; entre 40°C y 60°C , $R = 44?$ y entre 60°C y 80°C , $R = 50?$;

- b) Calcule el nuevo tiempo que obtuvo el señor.

Repitió la experiencia esperando el tiempo calculado en el punto b) y midió la temperatura obteniendo nuevamente un valor menor a 80°C . Como ya había observado cambios de la resistencia del calentador con le temperatura, decidió realizar un mayor número de mediciones, a partir de 20°C , aumentando cada vez la temperatura en pequeños saltos y obtuvo que la resistencia variaba con la temperatura de acuerdo a la ley mostrada en el gráfico.

- c) Represente, en ese mismo gráfico, los valores de la resistencia en función de la temperatura, utilizados en los puntos a) y b).

- d) A partir de los valores de R medidos en el punto anterior, calcule ahora el tiempo exacto que hay que esperar para elevar la temperatura del agua de 20°C a 80°C , suponiendo que



en cada momento la temperatura del agua es igual a la temperatura de la resistencia del calentador.

DATOS: La densidad del agua se puede suponer constante con la temperatura e igual a 1 g/cm^3 ; $1\text{ cal} = 4.2\text{ J}$

Si bien el modelo de problema es idiosincrático, existen en el proceso físico descripto hechos que deben ser contemplados y, si se pretende cuantificar, expresados mediante alguna relación formal. Por ejemplo, debe incorporarse a la solución el hecho de que el 20% de la energía disipada en la resistencia es cedida al medio a través del recipiente que contiene al agua.

El hecho de que la energía que recibe efectivamente el agua es sólo el 80% de la energía disipada en la resistencia puede cuantificarse, por ejemplo, mediante un factor 0.8 multiplicando el miembro correspondiente a la energía total disipada en la resistencia.

$$0.8 \text{ Energía disipada} = \text{Energía cedida al agua}$$

Otro tanto sucede cuando se plantea una resistencia que varía con la temperatura. Si bien la producción escrita, en tanto “resultado”, no da cuenta del complejo proceso de evolución de las representaciones, en problemas con demandas cuantitativas sí puede reflejar la incorporación, de manera situacionalmente significativa o no, de expresiones algebraicas o leyes físicas. Los ítems (a), (b) y (c) del enunciado del problema hacen referencia a valores de resistencia constantes o constantes en ciertos intervalos. En el ítem (d) se presenta una resistencia que varía linealmente con la temperatura. Para dar cuenta de la variación de R con T y realizar cálculos, se puede promediar los valores extremos de R (dada la linealidad de $R(T)$), o bien hacer el cálculo “geoméricamente” mediante el uso del área bajo la curva $R(T)$. En cualquier caso se necesita dar significado situacional a un proceso de integración sea éste analítico o gráfico. Un sujeto experto describiría este proceso analíticamente de la siguiente manera:

$$0.8 \int \frac{V^2}{R(T)} dt = m c_A \int dT \quad (1)$$

$$0.8 \int V^2 dt = m c_A \int R(T) dT \quad (2)$$

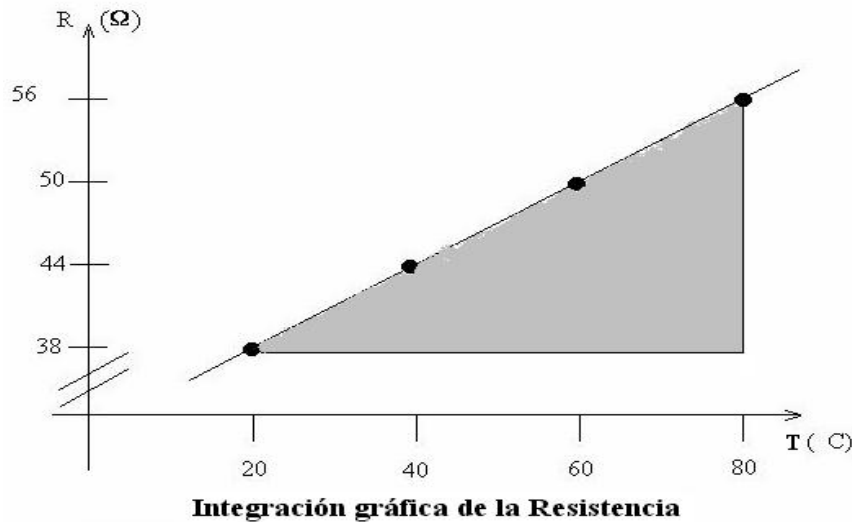
donde V es el voltaje en los extremos de la resistencia R en un lapso dt , c_A es el calor específico del agua, m es la masa de agua y T es la temperatura a la que ocurre el proceso. Cuando el valor de R es constante, las ecuaciones anteriores pueden sustituirse por

$$0.8 \frac{V^2}{R} \Delta t = m c_A \Delta T \quad (3)$$

y el cálculo de ΔT resulta de remplazar valores conocidos.

Lo mismo ocurre para tres distintos valores de R cuando la función $R(T)$ es una función escalón. Para cada intervalo de temperaturas es válida la ecuación (3), con sólo tener en cuenta los valores apropiados de Δt y ΔT .

Cuando R varía continuamente con la temperatura, es necesario trabajar con la ecuación (1), a menos que, dada la linealidad de $R(T)$, el resolvidor advierta que podría utilizar el valor promedio de R en la ecuación (3). Este proceso también puede llevarse a cabo por medio de una integración gráfica. En tal caso el área bajo la curva $R(T)$ representa la integral de la resistencia indicada en (2). (Figura 1)



Resultados

De las 80 pruebas disponibles, hay sólo 56 que corresponden a sujetos que abordan la solución de este problema. Dentro de este grupo, se describen las resoluciones que no dan cuenta de las características del proceso descrito en el texto, o que dan cuenta de ellas de manera errónea.

Característica 1: el recipiente no es adiabático

- ✍ Se encontraron tres resoluciones en las que no hay indicación alguna de que sólo el 80% de la energía disipada por la resistencia es utilizada para elevar la temperatura desde 20 °C a 80 °C. Es posible suponer que el sujeto al construir la base de texto no incorporó aquellas proposiciones que dan cuenta de la “pérdida” de energía. En consecuencia, genera un modelo de problema que responde a una situación diferente a la planteada. Existen también otras posibilidades para interpretar este hecho, vinculadas a mecanismos de control de la comprensión, y que serán abordadas en otro apartado. De todas formas, en cualquier caso, la producción escrita del sujeto responde a otra situación.
- ✍ En dos de las soluciones analizadas, se indica claramente que se debe tener en cuenta el hecho de que hay un 20% de energía que se “pierde” por falta de aislación térmica. Sin embargo, la formalización llevada a cabo por el resolvidor no contempla esta característica del proceso y el cálculo se corresponde con una situación en la que el recipiente que contiene al agua es adiabático. La indicación explícita de la cesión de energía al medio permite inferir que esta información ha estado presente en la base de texto. La ausencia de esta característica del proceso en los cálculos podría responder a que el sujeto no logró encontrar, o utilizar significativamente, algún esquema formal

para dar cuenta de ello y no la incorporó en su modelo de problema. En las resoluciones, los sujetos indican:

? Alumno T1b06:

“(V?i??t) – 20 %”, ... y agrega : “*tengo que sacar el 20% de la energía entregada*”. Sin embargo, al momento de calcular, lo hace sin la utilización de ningún factor de corrección.

? Alumno T1b15:

Realiza el cálculo del tiempo necesario para calentar el agua como si se tratase de un recipiente adiabático. Luego de obtener un resultado ($t = 189.7s$), lo corrige haciendo una correspondencia del tipo:

$$100\% \text{ de la energía } \Rightarrow 187,9s$$

$$80\% \text{ de la energía } \Rightarrow x=247,9s$$

Sin embargo, en los pasos siguientes de la resolución no vuelve a hacer ningún tipo de corrección.

✍ Se encuentran 15 resoluciones en las que los sujetos explícitamente dan cuenta de que hay un porcentaje de la energía disipada en la resistencia que no interviene en el aumento de temperatura del agua. Sin embargo, los factores de corrección incorporados en la formalización son incorrectos. Se interpreta que en estos casos los sujetos han generado una base de texto que responde a la situación planteada pero el modelo de problema elaborado no es coherente con la misma. Las resoluciones de estos sujetos muestran una utilización acrítica, o no significativa, del formalismo matemático al momento de considerar balance de energías. Se encuentran algunas variantes del mismo tipo de fallo:

? Se iguala la energía disipada en la resistencia al 80% de la energía necesaria para elevar la temperatura del agua. En otras palabras, se establece una relación del tipo:

$$\text{Energía disipada} = 0.8 \cdot \text{Energía cedida al agua}$$

En términos cotidianos significa que la energía total entregada por la resistencia es sólo el 80% de la energía absorbida por el agua. Lo que es equivalente a decir que el agua recibe más energía que la que entrega el calentador. (4 resoluciones)

? Se introduce un factor 1.2, que incrementa en un 20%, la cantidad de energía necesaria para elevar la temperatura del agua en lugar de quitar el 20% de la energía disipada en la resistencia. (9 resoluciones)

$$\text{Energía disipada} = 1.2 \cdot \text{Energía cedida al agua}$$

? Se iguala la energía disipada con algún porcentaje de la energía necesaria para elevar la temperatura. No es posible interpretar el significado de los factores de corrección introducidos. (2 resoluciones)

Característica 2: la resistencia varía linealmente con la temperatura.

En todas las resoluciones de este ítem hay evidencias que los sujetos pretenden dar cuenta de la variación lineal de la resistencia con la temperatura. Estos indicios permiten inferir que la información correspondiente a la característica 2 de la situación ha sido incorporada en la representación desde la base de texto. La formalización correspondiente se lleva a cabo mediante ecuaciones como la (3) o equivalente. Se describen a continuación algunos fallos encontrados:

- ✍ 15 sujetos utilizan la ecuación (3), reemplazando R por un valor particular incorrecto. En consecuencia describen una situación diferente a la planteada en el enunciado. El cálculo del valor particular que utilizan presenta algunas variantes.
 - ? Reemplazan R por uno de los valores extremos de la función. Algunos utilizan $R(20\text{ }^{\circ}\text{C})$ y otros $R(80\text{ }^{\circ}\text{C})$. (4 casos)
 - ? Reemplazan R por el promedio geométrico $\sqrt{R_{20^{\circ}\text{C}} \cdot R_{80^{\circ}\text{C}}}$. (1 caso)
 - ? Reemplazan R por el promedio aritmético calculado en un intervalo diferente a 20°C - 80°C ; (por ejemplo $\bar{R} = \frac{R_{20^{\circ}\text{C}} + R_{60^{\circ}\text{C}}}{2}$). La resolución responde a una resistencia que varía con la temperatura de manera lineal, pero con una pendiente menor a la dada en el enunciado. (9 casos)
- ✍ En 12 resoluciones se encuentra que el sujeto resuelve para el caso en que R es constante o constante a trozos, pero no intenta abordar la resolución para el caso en que R varía linealmente con T .

Análisis de resultados

El análisis de los resultados se hace sobre la base de los fundamentos teóricos ya enunciados, que suponen que un sujeto enfrentado al enunciado de un problema de física, con demanda de resultados cuantificables, produce una base de texto a partir de la cual recupera esquemas de problema y genera inferencias para construir un modelo de problema. En este proceso operan, además, mecanismos de tipo metacognitivo.

Si bien el instrumento utilizado no puede dar cuenta del proceso de construcción como tal, las regularidades encontradas permiten proponer tentativamente la siguiente categorización:

- ✍ Resoluciones en las que no aparece ningún indicio de que el sujeto haya incorporado en su representación la información correspondiente a la característica 1 o 2 desde la base de texto.

- ✍ Resoluciones que permiten inferir que la característica 1 o 2 está presente en la representación del sujeto, pero en las que no aparece esta característica en la formalización.
- ✍ Resoluciones que evidencian la presencia de la característica 1 o 2, junto con una formalización que no es coherente con ella.

Esta categorización se puede ver en la Tabla II:

Tabla II: Categorización tentativa de los errores encontrados

	Columna I	Columna II	Columna III
	No hay evidencia de incorporar el rasgo	Se incorpora la característica y No hay formalización de la misma	Se incorpora la característica y Se formaliza de forma desvinculada a ella
<u>Característica 1:</u> (el recipiente no es adiabático)	3 casos	2 casos	15 casos
<u>Característica 2:</u> (La resistencia varía linealmente con T)	0 casos	12 casos	15 casos

Sobre la base de esta categorización, se pueden distinguir los siguientes tipos de fallos encontrados:

Errores que pueden vincularse con la formación de la base de texto

Estas resoluciones son aquellas en las que no aparecen indicios de que la representación del sujeto contemple alguna característica de la situación planteada en el enunciado (Columna I). El fallo en la incorporación de esta característica en la representación puede responder a dos hechos diferentes. Una posibilidad es que la base de texto se haya construido de manera defectuosa, careciendo de esta información; en tal caso, no hay posibilidad de construir a partir de ella una representación en la cual esté presente este rasgo. Otra posibilidad es que en el proceso de generación de un modelo de problema a partir de la base de texto, esta característica haya sido omitida; en este caso, se trataría de una falla de naturaleza metacognitiva, sobre la cual se volverá al final del trabajo.

Errores que pueden vincularse con la recuperación o con la utilización significativa de esquemas de problema.

Estas resoluciones son aquellas que evidencian que la representación da cuenta de ciertas características cualitativas de la situación, las cuales no han podido ser formalizadas correctamente por medio de la utilización significativa de uno o más esquemas de problema adecuados.

Se incluyen en este grupo casos en los que hay una indicación explícita de alguna característica de la situación que luego no aparece en la formalización, y otros en los que dicha formalización da cuenta de una situación diferente a la planteada. En todos los casos, se infiere que la base de texto cuenta con esta información.

En el primer caso (columna II), las soluciones no evidencian la recuperación de esquemas de problema –para dar cuenta de la característica en cuestión- durante el proceso de construcción del modelo de problema.

Las demás resoluciones de este grupo (columna III) evidencian que se recuperaron esquemas de problema y que fueron incorporados sin significado situacional. De este modo, la representación que guía la solución resulta ser un modelo de problema inconsistente con la situación física planteada por el resolutor en los pasos previos. En algunos casos, la resolución responde incluso a una situación físicamente imposible.

El control de las representaciones del problema

A lo largo del trabajo, se han utilizado herramientas teóricas que pretenden modelar un proceso que se inicia con la lectura del enunciado de un problema, en el cual se genera una representación que guía la resolución del mismo. Los constructos base de texto y modelo de problema se refieren a representaciones dinámicas, que son continuamente modificadas durante este proceso. En trabajos realizados sobre la comprensión de textos científicos, se ha observado que los sujetos realizan modificaciones sobre las representaciones de un texto, de forma que son capaces de agregar inferencias o de suprimir información del propio texto (Otero & Campanario, 1990). Resulta plausible suponer que tales mecanismos de control de la comprensión puedan tener lugar también durante el proceso de resolución de un problema. Si bien el modelado de este complejo proceso dinámico - interjuego entre representaciones e inferencias, moduladas por mecanismos metacognitivos - resulta fuera del alcance de este estudio, algunos resultados se interpretan como señales de fallos en el control que el sujeto tiene de su propia comprensión.

Los párrafos que siguen deben ser considerados, de este modo, como indicios que, en todo caso, pudieran servir de fuente para estudios posteriores.

Los registros categorizados en la columna III (Tabla II), presentan evidencias (generalmente verbales) que dan cuenta de aspectos relevantes de la situación física. Algunos de ellos, muestran con detalle discusiones cualitativas. Sin embargo, la formalización responde a otra situación en la que tales aspectos relevantes han sido cambiados. Se ha interpretado que esos rasgos de la situación física (presentes en el enunciado), fueron incorporados a la base de texto. De este modo, cabe suponer que durante la construcción del modelo de problema hayan fallado mecanismos metacognitivos que, de haber actuado, habrían permitido advertir la incoherencia con la descripción cualitativa, permitiendo su reparación.

Para los registros categorizados en la columna II la situación es similar. Sin embargo, la falta de formalización no da indicios acerca de si se trata de una dificultad del sujeto para recuperar esquemas de problema, o de un mecanismo reparador que le permite advertir que no puede dar significado situacional a los esquemas de problema que logra recuperar.

Los registros categorizados en la columna I, en cambio, darían indicios de que el modelo de problema generado se ha construido coherentemente con una base de texto que no contiene los rasgos relevantes de la situación física. Sin embargo, también podrían ser el resultado de un modelo de problema incoherente con una base de texto que sí incorporó las características relevantes de la situación planteada. En este último caso, se estaría frente a una falla del control de la comprensión como la señalada para los registros de la columna III. Para estos casos, las limitaciones metodológicas no permiten proponer una interpretación sobre el proceso metacognitivo.

Conclusiones

La instrucción en resolución de problemas en física afronta, entre otras, la dificultad para atender los problemas de los alumnos para incorporar el formalismo específico de la disciplina con significado situacional. Son numerosos los casos de estudiantes capaces de recuperar de su memoria leyes y/o principios físicos como esquemas abstractos a los que no pueden resignificar ante una situación específica.

En el presente trabajo se han utilizado enunciados teóricos desarrollados para problemas sencillos de álgebra. De tal base teórica resulta particularmente atractiva la incorporación del constructo modelo de problema, el cual contempla, específicamente, el conocimiento formal del sujeto. Se ha interpretado que tal representación, para el caso de problemas de física, podría dar cuenta de un proceso particularmente conflictivo, como lo es la incorporación de leyes físicas con significado situacional.

Se han analizado resoluciones escritas de sujetos ante un enunciado de física y ha sido posible establecer una categorización tentativa de algunos errores, los que se han vinculado a fallos en algunos de los niveles del proceso modelado por la teoría. Se han encontrado también algunos indicios de deficiencias en los mecanismos de control de la comprensión durante el proceso de resolución.

A pesar del carácter exploratorio de este estudio, interesa señalar que los resultados sugieren una línea interesante para abordar el estudio del proceso de resolución de problemas de física en el ámbito instruccional.

Estudios de carácter descriptivo que avancen sobre la categorización propuesta, podrían abrir caminos para reinterpretar los errores de los alumnos, y así diseñar estrategias de enseñanza capaces de favorecer la generación de modelos problemas tan potentes como el conocimiento formal del sujeto lo permita.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido realizado en el marco del Convenio entre la Universidad de Córdoba y la Universidad de Alcalá. También ha recibido subvención parcial del proyecto PB98-0711 (I.P.: José C. Otero), del Ministerio de Educación de España.

Deseamos agradecer las útiles sugerencias realizadas por un revisor anónimo a una versión anterior de este artículo.

Referencias

BUTELER, L., GANGOSO, Z, BRINCONES, I., GONZÁLEZ, M. (2001). La resolución de problemas en Física y su representación. *Enseñanza de las Ciencias*, **19**, 285-295.

GRECA, I.M. y MOREIRA, M.A. (1998) Modelos mentales y aprendizaje de física en electricidad y magnetismo. *Enseñanza de las Ciencias*, **16**, 289-303.

JOHNSON-LAIRD, P. N. (1983). *Mental models: Towards a cognitive science of language, inference, and consciousness*. Cambridge, MA: Harvard University Press

JUST, M.A. & CARPENTER, P.A. (1987). *The Psychology of Reading and Language Comprehension*. Boston: Allyn and Bacon, Inc

KINTSCH, W. (1988). The use of knowledge in discourse processing: A construction-integration model. *Psychological Review*, **95**, 163-182.

KINTSCH, W. (1998). *Comprehension: A paradigm for cognition*. Cambridge: Cambridge University Press.

KINTSCH, W., VAN DIJK, T.A. (1978). Toward a model of text comprehension and production. *Psychological Review*, **85**, 363-394.

LARKIN, J.H., MCDERMOTT, J., SIMON, D.P. & SIMON, H.A. (1980). Expert and novice performance in solving physics problems. *Science*, **208**, 1335-1342

LARKIN, J.H. (1983). "The role of problem representations in physics". In *Mental Models*. Gentner, D. and Stevens, A.L. (Eds.) Hillsdale: Lawrence Erlbaum Associates.

NATHAN, M.J., KINSTCH, W. & YOUNG, E. (1992). A theory of word algebra problem-comprehension and its implications for the design of the learning environments. *Cognition and Instruction*, **9**, 329-389

OTERO, J.C. & CAMPANARIO, J.M. (1990). Comprehension evaluation and regulation in learning from science texts. *Journal of Research in Science Teaching*, **27**, 447-460

POLYA, J. 1945. *How to solve it*. Princeton: Princeton University Press (2nd edition 1973).

REIF, F., LARKIN, J. & BRACKET (1976). Teaching general learning and problem solving skill. *American Journal of Physics*, **44**, 212-217

VAN DIJK, T.A. & KINTSCH, W. (1983). *Strategies of discourse comprehension*. New York: Academic.

Recebido em 06.12.2000

Revisado em 13.11.2001

Aceito em 24.03.2002