

LOS PROBLEMAS RESUELTOS EN TEXTOS UNIVERSITARIOS DE FÍSICA

CONCARI, SONIA BEATRIZ^{1,2} y GIORGI, SILVIA MARÍA¹

¹ GIDEAF (Grupo de Investigación y Desarrollo en Enseñanza y Aprendizaje de la Física), Departamento de Física, Facultad de Ingeniería Química. Universidad Nacional del Litoral. Santiago del Estero 2829. CP 3000, Santa Fe. Argentina

² Facultad de Formación Docente en Ciencias, Universidad Nacional del Litoral. 9 de julio 2655 CP 3000, Santa Fe. Argentina

SUMMARY

This study presents a description of Physics university solved problems textbooks. The aim is to make a characterisation of authors' treatment of the presentation and resolution of these problems and to investigate its congruity with an investigation model of problem solving.

From the analysis of the results it comes out that a presentation of the problematic situation as a closed problem predominates in the sample. Also basic problem-solving processes are not explicit and analysis of results is limited. It is concluded that treatment of solved problems textbooks as examples presents weak coherence with a scientific conception of problem solving.

INTRODUCCIÓN

La gran mayoría de los cursos de física en la universidad se desarrollan aún del modo tradicional: clases teóricas, clases de resolución de problemas y clases de trabajos prácticos. Si bien en los últimos años se han ido introduciendo cambios importantes en la manera en que esas actividades son desarrolladas dentro y fuera del aula, integrándolas, pocos cambios han tenido lugar sobre los materiales de enseñanza empleados, particularmente los libros de texto. Se puede mencionar el trabajo realizado por Amato (1996), en el cual se han revisado textos introductorios de física que comprenden ediciones desde 1992 a 1997, destacándose cambios sustanciales en las actividades propuestas, en algunos de ellos, y en la estructura y organización del curso, en otros.

El libro de texto es considerado una herramienta poderosa de uso generalizado en las clases de ciencias (Otero,

1990). Aun cuando se usen apuntes elaborados por los propios docentes, y se diseñen y seleccionen otros instrumentos de enseñanza y actividades de aprendizaje, el programa de la asignatura remite al estudiante a cierta bibliografía básica, la cual es indicativa tanto del nivel del curso como del tipo de problemas que se emplean para enseñar y para evaluar el aprendizaje, pues la resolución de problemas ocupa un lugar relevante en el proceso educativo universitario como estrategia de enseñanza, como actividad de aprendizaje y como instrumento de evaluación.

El aprendizaje y su relación con el libro de texto han sido recurrentes objetos de estudio (Alexander et al., 1994; Concari et al., 1999). Los estudios de Portolés y otros (1993) y de Tulip y Cook (1991) muestran, efectivamente, que el material de lectura condiciona fuertemente el

aprendizaje. La necesidad e importancia de estudios analíticos del libro de texto se reconoce claramente a través de la recomendación de la asamblea final del XI Simposio Nacional de Ensino de Física: «Teniendo en vista que gran parte de los libros de texto de física presentan errores conceptuales y distorsiones pedagógicas diversas y que un número elevado de profesores define sus currículos con base en estos textos, se recomienda a la SBF¹ [...] que promueva un estudio analítico de los libros didácticos ya publicados y de los que fueran surgiendo en el mercado, procurando divulgar esos análisis entre los profesores [...]» (SBF, 1995, p. 556).

Romer (1996) ha calificado, en una nota editorial, como «deplorable», la práctica presente en los textos de los problemas propuestos al final de capítulo que se refieren no sólo a principios y ecuaciones básicas de ese capítulo, sino además a secciones específicas dentro del capítulo, con lo cual el estudiante puede encontrar la fórmula que contiene los símbolos presentes en el enunciado con sólo volver atrás unas páginas.

El estudiante puede considerar que los ejemplos de problemas resueltos en los textos son un referente explícito del procedimiento a seguir para resolver un problema. Esta actitud conduciría a neutralizar el esfuerzo realizado en el aula para presentar, analizar y resolver problemas con un enfoque sustentado por un modelo de resolución basado en resultados de la investigación educativa. A pesar de este esfuerzo, el estudiante se apoya fuertemente en el texto para aprender sobre los contenidos del curso y sobre los procedimientos de resolución de problemas, pues ambos aspectos son usualmente tenidos en cuenta para evaluar la capacidad de transferencia de los conocimientos.

El presente trabajo constituye un estudio descriptivo de los problemas resueltos como ejemplos en libros de física empleados en la enseñanza en los primeros cursos de la universidad, a fin de indagar sobre el grado de coherencia entre esta parte del texto y modelos actuales de resolución de problemas derivados de la investigación educativa, con el propósito de contribuir a la comprensión del complejo y multivariado proceso educativo universitario.

MARCO TEÓRICO

La resolución de problemas ha sido objeto de intensa investigación en el área de la enseñanza de la física. Entre los estudios sobre estrategias de resolución de problemas destacamos los trabajos del grupo que integran Reif y Larkin. En sus primeros trabajos, en los que se interesan por enseñar estrategias generales de resolución de problemas, se basan en cuatro procesos: comprensión y descripción del problema, planeamiento de la solución, desarrollo del plan y revisión de todo lo hecho² (Reif et al., 1976; Reif, 1981). Un estudio sobre resolución de problemas de textos (Larkin y Reif, 1979) demostró que los expertos se mueven desde la descripción original del problema hacia una descripción física

cualitativa y luego a una descripción matemática, mientras los novatos van directamente a la descripción matemática. Un estudio de Larkin (1983) resalta la importancia de los procesos de representación en la resolución de problemas.

En nuestro medio, han contribuido también, al conocimiento en esta área, los trabajos del grupo de Gil Pérez y otros investigadores de la Universidad de Valencia, quienes conciben la resolución de problemas como un proceso que reproduce procedimientos de la investigación científica (Gil Pérez y Martínez Torregrosa, 1983; Gil Pérez et al., 1989).

Un problema, entendido como una situación que plantea dificultades para las que no se poseen soluciones conocidas, requiere, para su resolución, de la consecución de ciertos procedimientos que se refieren a complejos procesos intelectuales y operativos semejantes a los que se siguen en una investigación científica. Para Reif, este proceso consiste en:

- La descripción y análisis del problema.
- La síntesis de la solución.
- La evaluación de la solución.

En el modelo de resolución de problemas como investigación desarrollado por Gil Pérez y otros investigadores de la Universidad de Valencia, estos procesos generales están integrados en las siguientes estrategias:

- Discusión del interés de la situación.
- Estudio cualitativo.
- Emisión de hipótesis.
- Elaboración y especificación manifiesta de las estrategias a la luz de la hipótesis.
- Resolución explicada.
- Análisis de los resultados a la luz de las hipótesis.
- Formulación de nuevas perspectivas.

Estos modelos posibilitan el acceso del estudiante a la resolución de problemas como una actividad de construcción y transferencia de conocimiento y no como una mera aplicación de algoritmos y ecuaciones.

Si bien, básicamente, los procesos involucrados en ambos modelos se corresponden, consideramos que el modelo del grupo de Gil Pérez pone énfasis en un aspecto fundamental para la presentación de los problemas resueltos como ejemplos en libros destinados a estudiantes, esto es la resolución verbalizada. Igual que reconocen Massa y otros (1997), respecto de los problemas de mecánica empleados en un coloquio con estudiantes universitarios de primer año: «Es fundamental explicitar, en el camino de resolución, los principios físicos

involucrados, sus límites de validez y la posibilidad real de la situación planteada.»

La posibilidad real de la situación planteada hace referencia al interés de la misma. La discusión de la posibilidad concreta de que esa situación se presente conduce a despertar el interés por resolverla.

Hestenes (1995a) ha argumentado que, a través del currículo de física, se fracasa en desarrollar en los estudiantes habilidades en el modelado y en el análisis cualitativo y afirma (1995b) que debe enseñarse a los estudiantes que la solución de un problema es un modelo, no sólo un número o una ecuación, y que el modelo contiene la respuesta a cualquier pregunta formulada sobre el problema. El aprendizaje del modelado debe ser explícito y, como destacan Greca y Moreira (1997), «a los alumnos se les debe enseñar de forma consciente los procedimientos mediante los cuales construir los modelos mentales que a su vez les permitan entender los modelos conceptuales enseñados [...]».

Una cuestión que desalentaría la visión parcial por parte del estudiante de la resolución de un problema como paso para la obtención de un resultado numérico estaría relacionada con el abordaje de los problemas a través de métodos cualitativos, los cuales, según Pescetti (1995), deberían ser fomentados en la enseñanza, aun con ejemplos simples. Langlois y otros (1995) han expuesto cómo las estrategias de resolución que los estudiantes ponen en juego dependen de la formulación del enunciado del problema. Estos autores han mostrado que un enunciado desprovisto de referencias a magnitudes físicas induce inmediatamente a actividades especulativas importantes.

Fauconnet (1983) ha investigado sobre los procesos de modelado y de razonamiento en general en la resolución de problemas. Por otro lado, en el trabajo de Neto (1991), que presenta un estudio de los factores psicológicos que intervienen en la resolución de problemas de física, se menciona que Gamble y Jung³ han probado que gran parte de las dificultades de los alumnos tienen más que ver con el bloqueo del razonamiento cualitativo que con incapacidades de orden matemático.

El análisis cualitativo conduce naturalmente a la formulación de hipótesis. De las hipótesis se desprende lo que se considera conceptualmente relevante para la resolución de un problema luego de una visión cualitativa de la situación, que conduce a reconocer información no pertinente o de relevancia secundaria. Una de las tareas fundamentales del trabajo científico es acotar los problemas abiertos imponiendo condiciones simplificadoras.

Las estrategias de resolución de un problema no derivan automáticamente del cuerpo de conocimientos teóricos sino que son también construcciones tentativas que parten del análisis cualitativo realizado. La resolución de un problema no se restringe a una sencilla aplicación de ecuaciones sino que se caracteriza por una estrecha interacción entre las hipótesis, el sistema de conceptos que se posee y las ecuaciones de que se dispone; en esta

interacción, las hipótesis ejercen un decisivo papel orientador. Por ejemplo, la analogía es un instrumento de construcción de conocimiento que puede emplearse en la resolución de problemas como herramienta didáctica en la enseñanza de las ciencias.

Por otro lado, cualquier tipo de situación problemática que se plantee en la enseñanza de la física involucra formas de representación. Dufresne y otros (1997) sugieren que debe proveerse de ejemplos de distintos modos de representación de la situación problemática, los cuales pueden ser usados para mejorar tanto la enseñanza como el aprendizaje. El empleo de tablas y gráficas debería también hacerse con frecuencia, dado que la conexión entre ellas y la física presenta dificultades para el estudiante (McDermott y Rosenquist, 1987). El estudio de Larkin (1983) muestra que los expertos aún no son capaces de resolver un problema muy difícil antes de que construyan una representación adecuada del mismo.

El paralelismo establecido entre la resolución de un problema y el proceso de investigación permite considerar la importancia del análisis de los resultados. Éste constituye un aspecto crucial del trabajo científico, sin el cual la solución del problema no tiene validez ni significado, y supone, sobre todo, su contraste con relación a las hipótesis emitidas y al cuerpo de conocimientos. Además es de destacar que, en la práctica científica, el abordaje de una situación problemática culmina generalmente con el planteo de nuevos interrogantes.

En este marco, se presenta un estudio de los problemas resueltos incluidos como ejemplos de mecánica, en una muestra de textos tradicionales de uso extendido en distintos países y de textos que han sido adoptados los últimos años en nuestro medio. El mismo persigue dos objetivos: *a)* el primero consiste en indagar si, en el tratamiento dado por los autores a la presentación y resolución de dichos problemas, se contemplan estrategias y procesos relacionados con un modelo de resolución de problemas de lápiz y papel como investigación; *b)* el segundo objetivo consiste en caracterizar dicho tratamiento.

Una revisión más extensa sobre investigaciones relativas a la resolución de problemas de física puede consultarse en las revisiones de Perales (1993) y de Maloney (1994).

EL ESTUDIO

La muestra estuvo formada por 57 problemas extraídos de cinco textos de física de uso generalizado en los primeros cursos dictados en universidades latinoamericanas. Los libros se listan en el anexo, y serán referidos por el número que en él se le asigna a cada uno.

Los problemas seleccionados fueron los últimos ejemplos resueltos de los capítulos correspondientes a los temas de mecánica (cinemática de traslación y de rota-

ción, dinámica de la partícula y de sistemas de partículas, trabajo y energía), por considerar que en esos problemas podrían estar incluidos cualquiera de los conceptos y las relaciones tratados hasta ese momento.

Se realizó un análisis de contenido (Ander Egg, 1980) del texto redactado, de las ecuaciones, las figuras, las gráficas y las tablas correspondientes a cada problema resuelto. Se presentan a continuación las variables definidas para el análisis:

– *Modo de presentación de la situación problemática:* Para esta variable se adoptaron las categorías siguientes: discusión del interés de la situación problemática, tipo de situación problemática y modo de presentación de la información. Consideramos que el tipo de situación que se describe y la forma en que se presenta la información son aspectos relacionados con la posibilidad de conducir o no al lector a un estudio cualitativo de la misma, lo cual a su vez condiciona todo el proceso de resolución.

– *Aspectos involucrados en el proceso de resolución:* En el marco de los procesos que conforman el modelo de resolución de problemas por investigación, se seleccionaron diez categorías: forma en que es definido el problema; discusión del sistema físico en estudio; explicación del modelo físico adoptado; forma de explicitar las hipótesis formuladas; tipo de representaciones en el proceso de resolución; indicación del sistema de referencia adoptado; indicación del sistema de coordenadas adoptado; forma de obtención de la solución; forma de presentación de los resultados; y tipo de análisis de los resultados. Consideramos que la definición del problema a partir de una dada situación es parte del proceso de resolución. A través de la primera categoría se pretende determinar cómo se formula el problema, pues el modo de preguntar induce o no a realizar una discusión del interés de la situación y un análisis cualitativo. La discusión del sistema físico en estudio, la explicación del modelo físico adoptado, la forma de explicitar las hipótesis formuladas, el tipo de representaciones en el proceso de resolución, la indicación del sistema de referencia y de coordenadas adoptados y la forma de obtención de la solución son categorías relacionadas con la emisión de hipótesis, con la elaboración y explicación de las estrategias a la luz de las mismas y con la explicación de la resolución. La forma de presentación y el tipo de análisis de los resultados son categorías relacionadas con la etapa de análisis de los resultados a la luz de las hipótesis en el modelo de resolución de problemas por investigación.

– *Manera de formular otras perspectivas:* Se adoptaron dos categorías para esta variable: forma de replantear el problema y planteo de nuevos problemas. A través de esta variable se evalúan las distintas alternativas presentes en la formulación de nuevas perspectivas para resolver el problema o el planteo de nuevos problemas.

Las categorías de análisis y los valores asignados a cada una de ellas se presentan a continuación.

Modo de presentación de la situación problemática

1. *Discusión del interés de la situación problemática.* 1.1. Se presenta. 1.2. No se presenta.

2. *Tipo de situación problemática.* 2.1. Con referencia a una situación experimental (situaciones específicas de la disciplina, referidas a experiencias de laboratorio de enseñanza o al trabajo científico). 2.2. Con referencia a una situación cotidiana. 2.3. Con referencia a una figura. 2.4. Otros.

3. *Modo de presentación de la información.* 3.1. Tipo: general o relevante (referida a ciertas magnitudes de las cuales depende la respuesta a la consigna o pregunta). 3.2. Forma: descriptiva (a través de una descripción explicada), simbólica (empleando símbolos tales como m para la masa, t para el tiempo, etc.), numérica, o con indicaciones sobre el procedimiento a seguir.

Aspectos involucrados en el proceso de resolución

4. *Forma en que es definido el problema.* 4.1. A través de una consigna o pregunta directa. 4.2. A través de una consigna o pregunta abierta.

5. *Discusión del sistema físico en estudio.* 5.1. Se presenta. 5.2. No se presenta.

6. *Explicación del modelo físico adoptado.* 6.1. Se presenta. 6.2. No se presenta.

7. *Forma de explicitar las hipótesis formuladas.* 7.1. Descriptiva. 7.2. Analítica.

8. *Tipo de representaciones en el proceso de resolución.* 8.1. Pictórica (figuras, fotos) 8.2. Simbólica (letras, vectores y diagramas de cuerpo libre). 8.3. Formal (ecuaciones particulares o generales). 8.5. Explicación de las representaciones (se presenta o no).

9. *Indicación del sistema de referencia adoptado.* 9.1. Se presenta. 9.2. No se presenta.

10. *Indicación del sistema de coordenadas adoptado.* 10.1. Se presenta. 10.2. No se presenta.

11. *Forma de obtención de solución.* 11.1. Analítica (por un proceso de resolución matemática a partir de ecuaciones generales o de expresiones deducidas antes de presentar el ejemplo). 11.2. Cálculo numérico. 11.3. Con explicación del procedimiento. 11.4. Por analogía.

12. *Forma de presentación de los resultados.* 12.1. Numérica. 12.2. Analítica. 12.3. Declarativa.

13. *Tipo de análisis de los resultados.* 13.1. Interpretativo. 13.2. De validación (ante el cuerpo de conocimientos o ante la experiencia). 13.3. No se presenta.

Tabla I
Frecuencias relativas porcentuales de los valores de cada categoría.

Modo de presentación de la situación problemática	
1. Discusión del interés de la situación problemática	No se alude al interés de la situación planteada en ninguno de los problemas.
2. Tipo de situación problemática	Se realiza haciendo referencia a una situación experimental en el 47% de todos los ejemplos analizados. En menos del 30% de los mismos se hace con referencia a una situación cotidiana (este valor varía según el texto entre 16% (1) y 36% (3)). En más del 8% de los ejemplos se hace referencia a una figura (según el texto este valor varía entre 0 % (3) y 60 % (4)). Y en el 15% de los mismos se refiere a situaciones ya modeladas o propuestas de cálculo (según el texto este porcentaje varía entre 8 % 1 y 4 y 41% (5).
3. Modo de presentación de la información	Es general en el 33% de los problemas (sólo 5 presenta información general en más de la mitad de los ejemplos), mientras que es relevante en el 77% de los casos (en 2 este porcentaje se eleva al 90 % de los ejemplos). La información que se presenta a través de una descripción explicada es significativa (en más del 80% de los ejemplos) sólo en 3 y 5, en la mitad de los ejemplos de 2 y 4 y sólo en el 25% de los ejemplos de 1. Con mayor frecuencia, la información se presenta empleando símbolos en 1 y en forma numérica en 2. La inclusión en la información de hipótesis de trabajo como indicaciones de pasos a seguir en el enunciado mismo del ejemplo está presente, alcanzando el 42 % en 4.
Aspectos involucrados en el proceso de resolución	
4. Forma en que es definido el problema	Se realiza a través de una pregunta o consigna directa entre el 73 % (3) y el 92 % (5) de los ejemplos de cada texto. La pregunta o consigna es abierta en el 8 % de los enunciados.
5. Discusión del sistema físico en estudio	No se realiza en la totalidad de los ejemplos de la muestra.
6. Explicación del modelo físico adoptado	El modelo adoptado es explicado sólo en uno de los 57 ejemplos en 1.
7. Forma de explicitar las hipótesis formuladas	Se presentan de manera descriptiva en el 17 % de los ejemplos y de manera analítica sólo en un caso (4), frecuentemente en el enunciado.
8. Tipo de representaciones en el proceso de resolución	La figura está presente en el 47 % de los ejemplos. En el 33 % de las mismas se incluyen vectores. En apenas el 14 % de los ejemplos se muestran diagramas de cuerpo libre. En el 21 % de los casos se superponen con las figuras, símbolos (letras y números), vectores y diagramas de cuerpo libre. Las ecuaciones que permiten una solución directa del problema (particulares) se presentan en el 70 % de los ejemplos. En más del 70 % de los ejemplos en cada texto, se explican las formas de representación empleadas.
9. Indicación del sistema de referencia adoptado	El sistema de referencia es explicitado sólo en el 14% de los ejemplos. No es explicitado en ninguno de los de 2 y 5.
10. Indicación del sistema de coordenadas adoptado	El sistema de coordenadas es explicitado en el 30 % de la totalidad de los ejemplos. En 1 se lo hace en más de la mitad de los mismos.
11. Forma de obtención de la solución	En el 35 % de los ejemplos, la solución se obtiene como producto de un proceso de resolución matemática de las ecuaciones planteadas, en forma analítica. En poco más del 50 % de los ejemplos, la solución se obtiene a partir de expresiones obtenidas antes en otros ejemplos o deducidas en otra parte del libro, en general poco antes de la presentación del ejemplo. El proceso de resolución es numérico en el 58 % de los ejemplos. Se resuelve el problema por analogía sólo en un ejemplo (2). La obtención de alguna solución se da en la totalidad de los ejemplos vistos y es siempre única.

12. Forma de presentación de los resultados	A través de un valor numérico en el 63 % de los ejemplos, de una expresión analítica en el 40 % y de una exposición declarativa en el 14 % de los mismos.
13. Tipo de análisis de los resultados	El análisis es interpretativo en el 40 % de los ejemplos analizados. Se validan los resultados ante el cuerpo de conocimientos o ante la experiencia en el 44 % de los casos. No se presenta ningún tipo de análisis de los resultados en el 26 % de los casos.
Manera de formular otras perspectivas	
14. Forma de replantear el problema	En ningún caso se plantea la posibilidad de abordar el problema adoptando otro modelo. El problema se presenta a través del planteo de otras hipótesis en el 12% de los ejemplos y de una reproducción experimental sólo en el 3% de los mismos.
15. Planteo de nuevos problemas	La enunciación explícita de nuevas cuestiones o preguntas se presenta apenas en el 20 % de los casos.

Manera de formular otras perspectivas

14. *Forma de replantear el problema.* 14.1. Adopción de otros modelos. 14.2 Formulación de otras hipótesis. 14.3. Propuesta experimental.

15. *Planteo de nuevos problemas.* 15.1. Se presenta. 15.2. No se presenta.

LOS RESULTADOS

En la tabla I se presentan los resultados en términos de frecuencias relativas porcentuales de los valores de cada categoría en los problemas analizados.

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS E IMPLICACIONES PARA LA ENSEÑANZA

El primer objetivo de este estudio consiste en indagar si, en el tratamiento dado por los autores a la presentación y resolución de los problemas, se contemplan estrategias y procesos relacionados con un modelo de resolución de problemas de lápiz y papel como investigación. A continuación se analizan los resultados obtenidos.

En casi la mitad de los problemas se presenta la situación problemática haciendo referencia a una situación de laboratorio como, por ejemplo, dos bloques conectados por medio de una cuerda que pasa sobre una polea, o referidas al trabajo científico, como la puesta en órbita de un satélite. En menos de un tercio se hace referencia a situaciones cotidianas (movimiento de autos). Otras formas de presentación incluyen situaciones ya modeladas o propuestas de cálculo; por ejemplo: «Centro de masas⁴ de un arco semicircular.» (5, p. 302). La discusión del interés de la situación presentada está completamente ausente en los problemas de la muestra.

La motivación por aprender a través de la actividad de resolución de problemas depende en gran medida del interés que se tenga en el tema. La baja frecuencia con que la presentación de la situación problemática se hace con referencia a situaciones cotidianas, familiares para el estudiante, sumado al hecho de que no se discute el interés de la situación, no contribuiría mayormente a que se interese por el problema, el cual podría aparecer como meramente académico.

La información que se presenta en el enunciado del problema, al describir la situación problemática, es mayoritariamente relevante. Expresiones como «determine el tiempo necesario para que la piedra alcance su altura máxima» (4, pp. 54-55), en la que está ya definido el problema y explicitadas las magnitudes claves para su resolución, se presentan en la mayoría de los enunciados.

En dos de los textos, la información se proporciona mayoritariamente a través de una descripción. En otros, se presenta la información en forma numérica y empleando símbolos, como, por ejemplo, «una carretilla de masa $mc = 1,8 \text{ kg}$ con ruedas pequeñas» (1, p. 105) y se incluyen hipótesis de trabajo en el enunciado mismo del problema, no con el carácter de supuestos sino como imposiciones para encontrar la solución del problema. Un caso sería: «Se conectan dos bloques por medio de una cuerda ligera que pasa sobre una polea sin fricción como se ve en la figura [...]» (4, p. 199).

En la mayoría de los enunciados queda ya definido el problema a resolver. Una consigna o pregunta directa señala un objetivo claro, como, por ejemplo: «Determinar la fuerza que actúa sobre la Luna simultáneamente por el Sol y la Tierra cuando la Luna está en P .» (1, p. 153). Preguntas o proposiciones abiertas del tipo: «Explíquese qué ocurre si la rueda se invierte alrededor de su centro en 180° .» (4, p. 293) se presenta en menos de uno de cada diez enunciados.

La formulación hecha del problema, a través de preguntas o cuestiones directas en el enunciado, aparece como una cuestión natural en los ejemplos, y no como resultado de una discusión cualitativa de la situación, en la que justamente los intereses e hipótesis conduzcan a definir el problema concreto a resolver. Las situaciones abiertas son una característica esencial de las situaciones problemáticas reales.

La inclusión de información relevante (como «datos») en el enunciado induce a la detección de determinadas magnitudes que intervienen en una fórmula dada, en perjuicio de una reflexión cualitativa de la cual deberían desprenderse las hipótesis. De esta manera, se alienta a que el estudiante busque las ecuaciones que relacionan los datos e incógnitas dados en el enunciado cayendo en la mera aplicación de fórmulas. Esto se contrapone con la resolución acorde con las características del trabajo científico, en la que la construcción de hipótesis surge del análisis significativo de las situaciones e interviene en el logro de una capacidad formativa muy superior a la de los habituales tratamientos puramente operativos.

En la totalidad de los ejemplos de la muestra, el sistema físico objeto de estudio es seleccionado sin ninguna explicación, no se justifica dicha elección y no se consideran otras alternativas. El modelo adoptado en cada caso tampoco es explicitado. También es baja la frecuencia con que son explicadas las hipótesis sobre las que se asienta la resolución del problema; en cambio, como ya ha sido expuesto, éstas suelen ya aparecer en el enunciado.

La elección de sistema y modelo como natural y única, y no como una construcción intelectual conveniente, posible entre otras, no contribuye a que el estudiante comprenda que el modelado que se hace de la situación y del sistema físico seleccionado como objeto de estudio constituye un paso crucial en la resolución del problema.

Con respecto a las posibles representaciones que posibilitan el progreso en la resolución del problema, se diferencian distintos niveles de abstracción: desde una figura en la que se representa en forma pictórica la situación, y la cual mantiene cierta similitud con la situación planteada, pasando por una representación por medio de símbolos tales como letras, vectores y diagramas, hasta la representación formal en términos de las ecuaciones matemáticas que describen la situación física a través de las leyes que se aplican a la misma.

La figura está presente en casi la mitad de los problemas como forma de representación pero en la mayoría de ellos ya en el enunciado se describe la situación con referencia a aquélla. Lo propio ocurre con la representación del sistema físico; las magnitudes y la relación entre éstas empleando letras, vectores y diagramas de cuerpo libre se superponen en algunos casos con la figura, sin explicitar que éstos constituyen otra posible (y conveniente) representación. La forma de representación varía fuertemente de un texto a otro. Las representaciones de las situaciones en términos de figuras, diagramas o ecuaciones, acordes con el conocimiento científico, son consistentes con el modelo conceptual (Moreira, 1997),

que facilita el proceso de comprensión y de resolución. Las diferentes representaciones empleadas en los ejemplos no son explicadas en este contexto.

Las ecuaciones presentadas son con mayor frecuencia, las que permiten una solución directa del problema y no aquéllas que expresan leyes generales. El empleo de ecuaciones válidas para la situación particular considerada, sin derivarlas de las ecuaciones que expresan las leyes generales, junto con la aparición de los datos en el enunciado proporcionan una visión de la resolución de problemas lineal y directa.

La resolución por analogía no está presente en los ejemplos de la muestra, excepto en uno (2, p. 318), en el que se plantea el problema de un torno y se resuelve por analogía de una colisión completamente no elástica en una dimensión, situación analizada previamente en otro capítulo. Esta ausencia puede justificarse con relación al tema considerado en este estudio, puesto que, siendo el tema de mecánica el primero que se trata, los modelos y su campo de aplicación son limitados. No obstante, «el secreto de la estrategia que consiste en encontrar ejemplos que constituyan analogías-puente entre una situación inicial (difícil de analizar en términos científicos) y una situación más simple o menos problemática» (Villani, 1995) puede aplicarse aún en los primeros temas de mecánica, como, por ejemplo, se muestra en el trabajo de Brown y Clement (1989).

Es claro que la resolución de un problema no es una secuencia lineal de acciones sino, por el contrario, requiere del desarrollo simultáneo de varios pasos, que se constituyen en complejos procesos. No obstante, la idea de la adopción de una estrategia general de solución de problemas como una forma de ayuda al entendimiento de los conceptos físicos y a la organización del trabajo, «eliminando el pánico inicial o la carencia de dirección para abordar un problema» (4, p. xvii) está fuertemente arraigada en los textos. Esto se refleja también en la baja frecuencia de indicación del sistema referencia y del sistema de coordenadas adoptados en los problemas.

Todos estos resultados evidencian escasa correspondencia entre el tratamiento desarrollado por los autores y los procesos de elaboración y explicación de las estrategias a la luz de las hipótesis y de resolución explicada, propuestos en el modelo de resolución de problemas por investigación.

La obtención de alguna solución se da en la totalidad de los ejemplos vistos y es siempre única. La misma resulta, en general, producto de un proceso de resolución matemática de las ecuaciones planteadas, en forma analítica en la tercera parte de los problemas, o numérica en más de la mitad de los mismos. En poco más de la mitad de los ejemplos, la solución se obtiene a partir de expresiones obtenidas antes en otros ejemplos o deducidas en otra parte del libro, en general poco antes de la presentación del ejemplo.

En pocos casos los resultados son presentados a través de una exposición declarativa. La expresión analítica (en

cerca de la mitad de los ejemplos) o numérica (en más de la mitad de los mismos) del resultado obtenido marca la finalización de la resolución sin nuevos interrogantes. Esto limita el interés por nuevas cuestiones.

El análisis de los resultados está ausente en más de la cuarta parte de los problemas de la muestra. En los casos en que éste se realiza, adopta la forma de una interpretación, a través de observaciones sobre el significado del signo, del valor numérico, o del orden de magnitud del resultado obtenido, de la consideración de casos particulares o dependencia funcional de la expresión analítica resultante. En menos de la mitad de los problemas se analizan los resultados en términos de validación ante el cuerpo de conocimientos que el estudiante debería tener en ese nivel del desarrollo del curso (la obtención de idénticos resultados por distintos caminos, por ejemplo, dinámico y energético) y ante la experiencia sugerida o referida (por ejemplo, presentando tablas de valores experimentales o aludiendo al tratamiento de algún método de medición).

Se ha dicho con razón que, para aprender, más importantes que las respuestas, son las preguntas. La enunciación explícita de nuevas cuestiones en la muestra analizada se presenta apenas en la quinta parte de los problemas. En ninguno de ellos se considera la posibilidad de adopción de otro modelo y pocos consideran un nuevo y diferente planteo, como, por ejemplo, la propuesta de una resolución experimental o la formulación de otras hipótesis, a pesar de la afirmación de algunos autores: «Nuestro empeño es indicar al estudiante el límite de validez de un argumento en particular y alentarle a que considere preguntas tales como: ¿Corresponde siempre un resultado en particular o sólo a veces? ¿Qué pasa a medida que nos acercamos al límite cuántico o al límite relativista?» (2, prefacio al volumen 1).

Caracterización del tratamiento realizado por los autores

En el intento de caracterizar los libros con relación al tratamiento presentado de los ejemplos resueltos, se han considerado los aspectos más significativos. El criterio adoptado fue destacar, en cada texto, la categoría que aparece con una frecuencia del 50% o más en los problemas del mismo.

El contexto problemático se presenta a través de una situación experimental en los libros 1 y 3.

El tipo de información proporcionada en el enunciado es relevante en los problemas resueltos de cuatro de los libros analizados y general en el restante (5). La información es descriptiva (excepto en el libro 1) y sin indicación del procedimiento a seguir.

Hay aspectos cruciales que se presentan en forma muy deficiente en todos los libros. Éstos son: la definición del problema en el mismo enunciado a través de una pregunta o consigna directa, la ausencia de discusión del sistema físico en estudio, la ausencia de alguna explicación

acerca del modelo adoptado, de las hipótesis, del sistema de referencia elegido y del sistema de coordenadas adoptado.

En cuanto a la representación en el proceso de resolución, sólo en 1 y 4 se incluye figuras en más de la mitad de los casos. Las representaciones empleadas son explicadas en los ejemplos de la mayoría de los textos, así como el proceso de resolución en general.

Las expresiones usadas en la resolución son particulares (1, 4 y 5), y obtenidas con anterioridad en la mayoría de los libros.

El análisis de los resultados sólo se efectúa en tres libros (1, 2 y 4) y el mismo es interpretativo. La formulación de nuevas preguntas o problemas no se lleva a cabo en ninguno de los textos analizados.

Con el fin de conocer la postura de los autores respecto de los problemas resueltos, se analizó el texto de los prólogos y prefacios de cada texto. Con relación a los objetivos de los problemas resueltos planteados por los autores se encontró que en 1 se menciona que los ejemplos muestran las técnicas de resolver problemas, en 2 se expresa que los ejemplos resueltos sirven sólo como ejercicios en la aplicación de los temas nuevos, en 3 se hace referencia a la inclusión de un amplio conjunto de ejercicios resueltos y en la efectividad de los medios pedagógicos utilizados, en 4 se menciona que se presentan ejemplos resueltos «como una ayuda más en la comprensión de los conceptos» (p. VIII) de manera tal que los mismos sirvan como modelo para la solución de los problemas de fin de capítulo, y en 5 no son explicitados objetivos. Además, en 4 se menciona que el texto incluye estrategias de resolución de problemas para que sirvan de modelo.

Aunque la extensión de las sucesivas ediciones de los textos clásicos no se ha ido incrementando (Amato, 1996), se han expandido las colecciones de problemas de fin de capítulo. Este hecho es considerado por algunos autores como una contribución al aprendizaje del estudiante: «Las mejoras principales (respecto de las ediciones anteriores) se han hecho en las preguntas y los problemas. En toda la parte I éstos han aumentado un 35 % respecto de la segunda edición y 430 del total de 1567 son nuevos. [...] se han añadido 225 problemas probados nuevos a la parte I para ampliar la cobertura del material, aumentar el nivel del alumno y dar al profesor una selección más actual.» (3, prefacio).

Igual criterio se aplica a los ejemplos resueltos: «Un total de 394 ejemplos de diverso grado de dificultad son resueltos como una ayuda más en la comprensión de los conceptos. Esto representa un 10% más con respecto a la segunda edición. En algunos casos, estos ejemplos sirven como modelo para la solución de los problemas de fin de capítulo. Los ejemplos se presentan en un recuadro azul. La mayoría de los ejemplos tienen títulos que describen su contenido» (4, prefacio). «El número de ejemplos resueltos en el volumen 1 se ha aumentado de 135 a 183 (36%). El aumento real del número de ejem-

plos resueltos (ahora llamados *problemas muestra*) es más grande, porque la edición anterior presentaba ocasionalmente los temas nuevos por medio de ejemplos resueltos.» (2, prefacio al volumen 1). De esta manera se corre el riesgo de tener en cuenta más la cantidad que la calidad de los ejemplos resueltos.

CONCLUSIONES

Se presentó una descripción del tratamiento dado a los problemas resueltos en cinco libros de uso común en las aulas universitarias. Del análisis de los resultados surge que los ejemplos de la muestra no se plantean como verdaderos problemas entendiéndose éstos como situaciones que plantean dificultades para las que no se poseen soluciones inmediatas. El tratamiento dado a los mismos guarda escasa coherencia con la concepción científica de resolución de problemas.

En los problemas prevalece una presentación cerrada de la situación problemática. Ciertos procesos básicos de la resolución de problemas de física, o bien son ignorados, o al menos no están explícitos en la resolución hecha, y es limitado el análisis de los resultados obtenidos.

Mostrar los problemas resueltos como patrón de resolución de problemas a los estudiantes, y por otra parte que los docentes los adopten como problemas tipo para enseñar y para evaluar aprendizaje, induce a una visión de la resolución de problemas muy alejada del trabajo científico. Éstos serían dos aspectos más de una enseñanza universitaria «desproblematizada [...] descontextuada [...] y desintegrada», según las hipótesis de Ferreyra y González (1997).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALEXANDER, P. A. y KULIKOWICH, J. M. (1994). Learning from physics texts: a synthesis of recent research. *Journal of Research in Science Teaching*, 31(9), pp. 895-911.
- AMATO, J. (1996). The introductory calculus-based physics textbook. *Physics Today*, December, pp. 46-51.
- ANDER EGG, E., (1980). *Técnicas de investigación social*. Buenos Aires: El Cid Editor.
- BROWN, D. y CLEMENT, J. (1989). Overcoming misconceptions via analogical reasoning: Abstract transfer versus explanatory model construction. *Instructional Science*, 18, pp. 237-251.
- CONCARI, S.B., POZZO, R.L. y GIORGI, S.M. (1999). Un estudio sobre el rozamiento en libros de física de nivel universitario. *Revista de Enseñanza de las Ciencias*, 12(2), pp. 273-280.
- DUFRESNE, R.J., GERACE, W.J. y LEONARD, W.J., (1997). Solving physics problems with multiple representations. *The Physics Teacher*, 35, pp. 270-275.
- FAUCONNET, S. (1983). *Exploring the ways students solve physical problems. A study about problems of similar structure*,

A partir de los resultados de este estudio se pretende promover la reflexión de los docentes sobre sus criterios de selección de los textos, así como de los objetivos de empleo de los materiales en el proceso de enseñanza y de evaluación. También se pretende brindar lineamientos sobre los aspectos que habría que reforzar en el aula acerca de la práctica de resolución de problemas de lápiz y papel si se quiere que los estudiantes alcancen una formación científica integral.

Los autores de este estudio consideran que los resultados obtenidos pueden también ser útiles a otros investigadores con relación a las características del proceso educativo en los primeros cursos de la universidad.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación fue realizada en el marco de sendos proyectos subsidiados por la Universidad Nacional del Litoral a través de los programas CAI+D 94-95 y CAI+D 96-97.

NOTAS

¹ Sociedade Brasileira de Física.

² Estos procesos habían sido desarrollados antes para la resolución de problemas de matemática por Polya, G. (1945). *How to solve it*. Doubleday: Garden City, NY.

³ Gamble, R. (1986). Simple equations in physics. *European Journal of Science Education*, 1(1), pp. 27-37.

Jung, W. (1985). Uses of cognitive science to science education. Documento presentado en ATEE Symposium on the implications of cognitive science for the education of science teacher. Kiel, August.

⁴ En plural en el texto.

en Proceedings of the First International Summer Workshop: Research on Physics Education. La Londe. Les Maures. Francia.

FERREYRA, A. y GONZÁLEZ, E.M. (1997). ¿Cómo se enseña física en la universidad? Consideraciones conducentes a la elaboración de propuestas didácticas transformadoras, en *Memorias X Reunión Nacional de Educación en Física*. Mar del Plata: APFA.

GIL PÉREZ, D. y MARTÍNEZ TORREGROSA, J. (1983). A model for problem solving in accordance with scientific methodology. *European Journal of Science Education*, 5(4), pp. 447-455.

GIL PÉREZ, D., MARTÍNEZ TORREGROSA, J. y SENENT PÉREZ, F. (1988). El fracaso en la resolución de problemas de física: una investigación orientada por nuevos supuestos. *Enseñanza de las Ciencias*, 6(2), pp. 131-146.

GIL PÉREZ, D., DUMAS-CARRÉ, A. CAILLOT, M. MARTÍNEZ TORREGROSA, J. y RAMÍREZ, L. (1989). La resolución de problemas de lápiz y papel como actividad de investigación. *Investigación en la Escuela*, 6, pp. 3-19.

- GRECA, I.M. y MOREIRA, M.A. (1997). Modelos mentales, modelos conceptuales y modelización, en *Memorias X Reunión Nacional de Educación en Física*. Mar del Plata: APFA.
- HESTENES, D. (1995a). What do graduate oral exams tell us? *American Journal of Physics*, 63(12), p. 1069.
- HESTENES, D. (1995b). Modeling software for learning and doing physics, en Bernardini, C., Tarsitani, C. y Vicentini, M. (eds.). *Thinking physics for teaching*. Nueva York: Plenum Press.
- LANGLOIS, F., GRÉA, J. y VIARD, J. (1995). Influencia de la formulación del enunciado y del control didáctico sobre la actividad intelectual de los alumnos en la resolución de problemas. *Enseñanza de las Ciencias*, 13(2), pp. 179-191.
- LARKIN, J.H. (1983a) The role of problem representation in physics, en Gentner, D. y Stevens, A. (eds.). *Mental Models*. Hillsdale, Nueva Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.
- LARKIN, J.H. (1983b) Spatial reasoning in physics problems, en *Proceedings of the First International Summer Workshop: Research on Physics Education*. La Londe. Les Maures, Francia.
- LARKIN, J.H. y REIF, F. (1979) Understanding and teaching problem solving in physics. *European Journal of Science Education*, 1(2), pp. 191-203.
- MALONEY, D.P. (1994). Research on problem solving: Physics, en Gabel, D.L. (ed.). *Handbook of Research on Science Teaching and Learning*. EEUU: Macmillan.
- MASSA, M., SÁNCHEZ, P. y LLONCH, E. (1997). El problema en un coloquio integrador: un estudio exploratorio, en *Memorias X Reunión nacional de Educación en Física*. Mar del Plata: APFA.
- McDERMONT, L. (1991). Millikan Lecture 1990. What we teach and what is learned-closing the gap. *American Journal of Physics*, 59(4), pp. 301-315.
- McDERMOTT, L. y ROSENQUIST, M. (1987). Difficulties in connecting graphs and physics: examples for kinematics. *American Journal of Physics*, 55(6), pp. 503-513.
- MOREIRA, M. A. (1997). Modelos mentais. Investigações em Ensino de Ciências, 1(3), <http://www.if.urfgs.br/public/ensino/revista.htm>
- NETO, A.J. (1991). Factores psicológicos de insucesso na resolução de problemas de física: uma amostra significativa. *Enseñanza de las Ciencias*, 9(3), pp. 275-280.
- OTERO, J. (1990). Variables cognitivas y metacognitivas en la comprensión de textos científicos: el papel de los esquemas y el control de la propia comprensión. *Enseñanza de las Ciencias*, 8(1), pp. 17-22.
- PERALES, F.J. (1993). La resolución de problemas: una revisión estructurada. *Enseñanza de las Ciencias*, 11(2) pp. 170-178
- PESCETTI, D. (1995). Qualitative methods in problem solving. The evaluation of the orders of magnitude. *Thinking Physics for Teaching*. Editado por Carlo Bernardin et al., pp. 387-399. Nueva York: Plenum Press.
- PORTOLÉS, J.J.S., LÓPEZ, V.S., VIDAL, E., GÁMEZ, E.V., (1993). Los estudiantes y los textos de ciencias físicas: un estudio sobre su interacción. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, 10(3), pp. 204-219.
- REIF, F., LARKIN, J.H. y BRACKETT, G.C. (1976). Teaching general learning and problem-solving skills. *American Journal of Physics*, 44(3), pp. 212-217
- REIF, F. (1981). Teaching problem-solving. A scientific approach. *The Physics Teacher*, 19, pp. 310-316.
- REIF, F. (1983). Teaching problem-solving. A scientific approach. *The Physics Teacher*, May, pp. 477-478.
- REIF, F. (1987). Instructional design, cognition, and technology: applications to the teaching of scientific concepts. *Journal of Research in Science Teaching*, 24(4), pp. 309-324
- ROMER, R.H. (1996). Wanted-Qualitative Questions. *American Journal of Physics*, 64(7), pp. 844-845.
- SBF (1995). *Atas XI Simpósio Nacional de Ensino de Física*, 556. Niterói-Rio de Janeiro: Universidade Federal Fluminense.
- TULIP, D. y COOK, A. (1991). A Comparison of Author Intentions and Student perceptions about Textbook Characteristic. *Research in Science Education*, 21, pp. 313-319.
- VILLANI, A. (1995). Estrategias de ensino-aprendizagem, mudança conceptual. Conclusões provisórias, en *Atas do XI Simpósio Nacional de Ensino de Física*, p. 37. Niterói-Rio de Janeiro: Universidade Federal Fluminense.

[Artículo recibido en diciembre de 1998 y aceptado en mayo de 2000.]

ANEXO

Libros discutidos en este artículo

1. GETTYS, E. (1994). *Física clásica y moderna*. España: McGraw Hill.
2. HALLIDAY, D., RESNICK, R. y KRANE, K. (1996). *Física*. 4a. ed., vol. 1. México: CECSA.
3. RESNICK, R. y HALLIDAY, D. (1980). *Física. Parte I*. 1a. ed. en español de la 3a. ed. en inglés. México: Compañía Ed. Continental, SA.
4. SERWAY, R. (1993). *Física. Tomo I*. México: McGraw Hill.
5. TIPLER, P.A. (1978). *Física*. España: Reverté, SA.