

INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO

LA RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS EN FÍSICA Y SU RELACIÓN CON EL ENUNCIADO.^(*)

TESIS DOCTORAL: LAURA BUTELER⁽¹⁾

DIRECTORA DE TESIS: DRA. ZULMA GANGOSO⁽¹⁾

⁽¹⁾Facultad de Matemática, Astronomía y Física, Universidad Nacional de Córdoba.
Avda. Medina Allende s/n, Ciudad Universitaria. CP 5000. Córdoba. Argentina.
Correo Electrónico: lbuteler@famaf.unc.edu.ar / zulma@famaf.unc.edu.ar

RESUMEN

El objetivo de este trabajo es estudiar la relación entre características de los enunciados de problemas en Física y el proceso de solución, con vistas a obtener implicaciones para la instrucción en la tarea de resolución de problemas de Física. Un aspecto central en la resolución de problemas consiste en modelar el conocimiento que las personas ponen en juego al realizar esta tarea, lo que significa proponer representaciones que den cuenta aspectos fundamentales de la actuación humana. El principio que subyace a lo largo de todo el trabajo es que la representación que un sujeto construye luego de leer un enunciado de un problema de Física, guía su proceso de solución.

Se puede concluir que existen características de los enunciados que están asociadas a distintos caminos de solución, las cuales dependen del dominio específico de conocimiento (Física). Lo anterior da lugar a un modelo para el proceso de solución que es utilizado a modo de representación para esta tarea. Se estudia la transferencia de lo anterior al ámbito de la instrucción formal en Física.

ABSTRACT

The aim of the present work is to study the relation between Physics problem-statements and the solving process. Further knowledge on this relation will have implications on the instruction for the problem-solving task in Physics classrooms. A central aspect of research on problem solving is to model the knowledge solvers use to undertake the task. This means that representations must be proposed, which can account for basic characteristics of human behavior. Throughout the present work, the underlying principle is that the representation built by the solver when reading the statement guides his/her solving process.

As a conclusion, certain characteristics of problem statements are found to be related to different solution paths. These characteristics depend on the specific domain knowledge (Physics). Therefore, a model for the solution process is proposed to account for the representation involved in this task. Finally, transfer of these results to formal instruction in Physics is analyzed.

I. INTRODUCCIÓN.

El tópico *resolución de problemas*, ha sido tradicionalmente abordado por científicos cog-

nitivos. En particular todo manual de Psicología Cognitiva contiene un capítulo dedicado espe-

^(*)El material que se publica es un resumen de la Tesis Doctoral de la Dra. Laura Buteler, preparado especialmente por la autora a solicitud de la Dirección de la Revista de Enseñanza de la Física. El artículo presenta una síntesis de los aspectos centrales del trabajo de tesis.

cialmente a revisar extensamente estudios experimentales y algunos desarrollos teóricos referidos a esta problemática. Una inspección de tales capítulos muestra que se trata de un problema de investigación complejo al menos por dos razones. En primer lugar, la resolución de problemas involucra como mínimo procesos de percepción, atención, memoria y razonamiento, los cuales constituyen en sí mismos problemas actuales para la Psicología Cognitiva. El estado del arte revela hoy posturas alternativas para cada uno de los fenómenos anteriores, lo que hace difícil adoptar fundamentos teóricos que puedan orientar la búsqueda de respuestas para esta tarea. En segundo lugar, los resultados obtenidos en el ámbito de la Psicología Cognitiva corresponden mayoritariamente a experiencias realizadas en condiciones de laboratorio, y con problemas lúdicos para los cuales no se requiere de conocimiento específico más allá de las acciones permitidas, lo que hace difícil su extensión a situaciones reales de aprendizaje y a dominios específicos de conocimiento.

Afortunadamente, en la década de los ochenta del siglo pasado aparecieron numerosos estudios que arrojaron considerable información acerca de las características de los procesos de solución llevados a cabo por sujetos expertos y novatos en el área de la Física. Nacen así los primeros estudios en *resolución de problemas en Física*, en los que los sujetos participantes son usualmente profesores (expertos) y alumnos (novatos) de Física, y donde la tarea planteada son problemas típicamente instruccionales. Estos trabajos son pioneros porque, a diferencia de estudios anteriores en resolución de problemas, se desarrollan en el campo de una disciplina específica por lo que es necesario incorporar el conocimiento de un dominio específico (Física) en los modelos propuestos. Al igual que la mayoría de los estudios en resolución de problemas en el ámbito de la Psicología Cognitiva, muchas de estas investigaciones se desarrollaron en condiciones de laboratorio y usualmente con pocos sujetos. Los principales aportes de esta línea de investigación fueron describir las características del comportamiento experto y novato, simular el comportamiento experto y novato para resolver problemas de Física muy sencillos, y efectuar algunos aportes dirigidos a resolver la cuestión de la evolución hacia la experticia a partir de un estadio caracterizado como novato.

Este trabajo de tesis intenta incorporar a los resultados anteriores algunas cuestiones vinculadas a características de los enunciados de los

problemas que pudieran tener influencia en el proceso de solución, y diseñar estrategias de enseñanza para la resolución de problemas en consecuencia a estos hallazgos. Es decir, se ha intentado describir y explicar algunas estrategias puestas en juego por las personas durante la resolución de un problema de Física, con el objetivo de diseñar estrategias de enseñanza que favorezcan en los alumnos un proceso eficiente de aprendizaje en esta tarea. En este sentido, son dos las vertientes que han confluído en este estudio. Por un lado, las teorías y resultados empíricos provenientes de la Psicología Cognitiva, poco comprometidos con el aprendizaje formal de una disciplina específica, y por el otro, el contexto educativo en el que nos interesa estudiar la tarea de resolución de problemas de Física. Se ha intentado construir un espacio propio para una problemática que por sus características, ha requerido ser abordada desde la Psicología Cognitiva y desde la Física, ambas en el ámbito de la educación formal.

II. TRABAJOS PREVIOS.

Los resultados ya existentes que orientaron la búsqueda en este trabajo de tesis, provienen básicamente de dos conjuntos de estudios independientes entre sí. Por un lado los resultados de expertos y novatos antes mencionados, y por el otro, resultados que reportan la existencia del llamado "efecto representacional", que se refiere a diferencias de la actuación humana ante tareas cognitivas idénticas presentadas en distintos formatos. Se describirán brevemente las características de cada uno de estos trabajos, dejando para el próximo apartado los aportes desarrollados a partir de éstos.

II.A. ESTUDIOS DE SUJETOS EXPERTOS Y NOVATOS EN LA RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS EN FÍSICA.

La investigación en resolución de problemas en Física experimentó un importante desarrollo gracias a un conjunto de estudios provenientes del campo de la Psicología Cognitiva que tuvieron como objetivo describir y explicar el comportamiento de sujetos expertos y novatos en esta tarea (Simon y Simon, 1978; Larkin y Reif, 1979; Chi y colaboradores, 1981; Chi y colaboradores, 1982; de Jong y Ferguson-Hessler, 1986; Ferguson-Hessler y de Jong, 1987). El principio subyacente a estos trabajos es que el proceso de solución de los sujetos está guiado por la representación interna que ellos

construyen a partir de la lectura del enunciado, razón por la cual gran parte de esa investigación estuvo dirigida a caracterizar esas representaciones. Estos estudios arrojaron una importante descripción tanto de la estructura de conocimiento como de las estrategias que estos sujetos ponían en juego durante la resolución.

Uno de los primeros trabajos de expertos y novatos en Física fue el de Simon y Simon (1978), que puso en evidencia importantes diferencias respecto de las estrategias de resolución utilizadas por estos sujetos. Estas estrategias son identificadas en la literatura como trabajar *hacia adelante* (expertos) y *hacia atrás* (novatos). Resolver hacia atrás implica partir desde las incógnitas en busca de los datos disponibles, mientras que resolver hacia adelante consiste en partir desde lo que se conoce hacia las incógnitas. Otra importante diferencia entre expertos y novatos reside en la presencia/ausencia de un análisis cualitativo antes de comenzar la resolución (Larkin y Reif, 1979). Sobre la base de resultados empíricos, estos autores desarrollaron dos

modelos que capturan los principales rasgos de la forma de proceder de expertos y novatos. Los modelos comparten un rasgo que consiste en la construcción de una representación original involucrando sólo conocimiento general, y que no involucra conocimiento específico de leyes y principios físicos.

El modelo novato va desde la representación original a la descripción matemática. Esta descripción matemática es construida a partir de la formulación matemática derivada de los principios físicos relevantes, y con la finalidad de calcular las cantidades requeridas. El modelo de experto parte desde la representación original hacia una representación física cualitativa del problema para luego pasar a la descripción matemática. La distinción más notable entre ambos modelos es la inclusión o no de la representación cualitativa en el dominio específico de conocimiento (*figura 1*). La construcción de esta representación requiere de un conocimiento físico que el novato no posee o bien al cual le es difícil acceder.

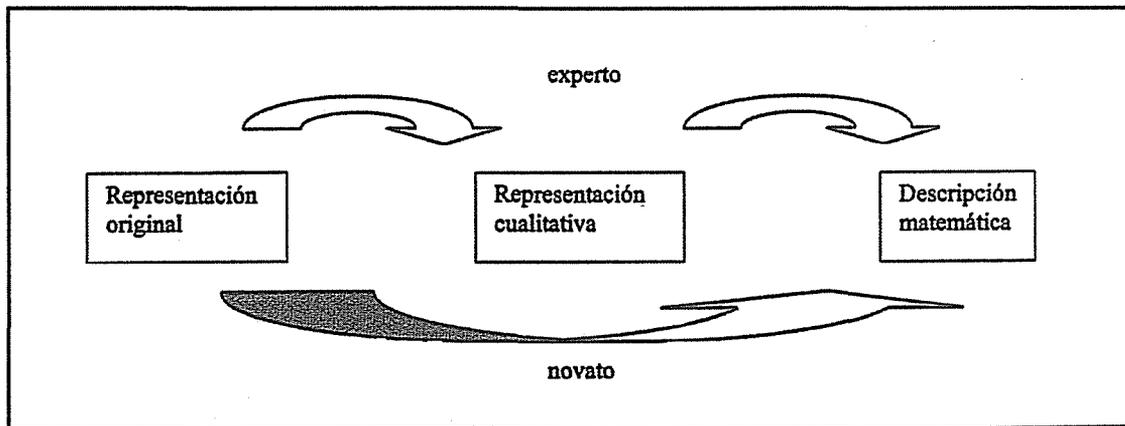


Figura 1: comportamiento experto versus comportamiento novato.

Estudios posteriores, reportan sobre las diferencias de estructuras de conocimiento de los sujetos expertos y novatos (Chi, Feltovich y Glaser, 1981; Chi, Feltovich y Rees, 1982; de Jong y Ferguson-Hessler, 1986; Ferguson-Hessler y de Jong, 1987). Si bien estos estudios son llevados a cabo de manera independiente, ellos arriban a la conclusión de que los expertos, a diferencia de los novatos, organizan su conocimiento de manera jerárquica y compilada en "chunks" o paquetes de información. Estos paquetes de información se relacionan entre sí formando esquemas o redes que dan lugar a numerosas discriminaciones e integraciones. En contraste, los novatos no parecen ser capaces de jerarquizar ni compilar información, lo cual

afectaría la eficiencia durante la resolución de un problema.

La perspectiva que adoptan los estudios anteriores es tomar como variable explicativa el conocimiento de base (diferencias entre expertos y novatos). Así, los sujetos con un extensivo conocimiento de base en el dominio en cuestión, son capaces de construir representaciones más eficientes si se las compara con aquellas que construye el principiante. Sin embargo, trabajos más recientes (Larkin y Simon, 1987; Zhang y Norman, 1994; Zhang, 1997) indicarían que existen otros factores capaces de explicar (al menos en parte) la naturaleza de la representación que guía el proceso de solución. Estos

factores están asociados a aspectos externos que dan lugar a procesos perceptuales, más bien pertenecientes al entorno de la tarea, y a la forma en que la tarea es presentada al sujeto. No se trata de reemplazar una posición por otra, sino considerar ambas perspectivas de manera complementaria.

II.B. EL EFECTO REPRESENTACIONAL.

En el ámbito de la Psicología Cognitiva, se refiere al efecto representacional como el fenómeno según el cual, la modificación del formato en que se presenta una tarea altera la naturaleza de la tarea para el sujeto que la realiza. Un conjunto de estudios, no pertenecientes estrictamente al ámbito de la resolución de problemas en Física, dan cuenta de este efecto.

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. 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.

Mientras que las investigaciones en sujetos expertos y novatos sólo consideran el conocimiento conceptual del sujeto como variable a ser tenida en cuenta, los estudios revisados en este apartado presentan resultados que sugieren con-

siderar a la representación externa de un enunciado como un factor relevante en la actuación de un sujeto cuando resuelve un problema. Es importante notar que, a excepción del trabajo de Larkin (1987), los resultados anteriores se refieren a sujetos enfrentados a tareas para las cuales *no se requiere de conocimiento en un dominio específico*. No obstante, se considera que constituyen un buen lugar de partida para investigar hasta qué punto puede manifestarse el efecto representacional en sujetos con distintos niveles de instrucción formal en Física.

III. LAS PREGUNTAS CENTRALES Y LOS APORTES RELEVANTES.

En el contexto de los resultados anteriores y de cuestiones teóricas involucradas en esas investigaciones, se formularon las preguntas que orientaron el trabajo:

- *¿Existen características del enunciado de un problema de Física que tengan influencia en la representación que guía el proceso de solución?*

- *¿Qué aspectos del formato representacional son relevantes para estudiar la relación entre la representación y el proceso de solución de un problema de Física?*

- *¿Qué implicaciones tienen las cuestiones anteriores en el diseño de la instrucción en la resolución de problemas de Física?*

Estas preguntas dan origen a tres aportes centrales que conforman el trabajo de tesis.

III.A. EL EFECTO REPRESENTACIONAL EN LA RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS DE FÍSICA.

El efecto representacional observado en distintas tareas cognitivas, en particular en la resolución de problemas lúdicos, sugiere pensar en la posibilidad de la presencia de este fenómeno en la resolución de problemas en Física. Esta idea dio lugar a dos estudios empíricos de los cuales se describen algunos de los resultados más significativos.

El primero de ellos "*Diferentes enunciados del mismo problema: problemas diferentes?*"¹, muestra que el efecto representacional reportado

¹ Investigações em Ensino de Ciências, 2001, 6(3), 269-283.

en tareas lúdicas, ocurre también en la tarea de resolución de problemas en Física. El estudio consiste en presentar a un conjunto de alumnos que cursan Física en la carrera de Biología, dis-

tintos enunciados del mismo problema de termodinámica. Distintos grupos distribuidos aleatoriamente son enfrentados a alguna de las siguientes versiones:

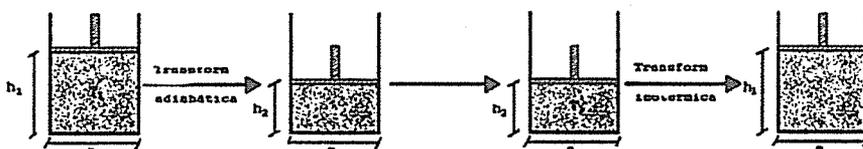
Enunciado V

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?

Enunciado GC

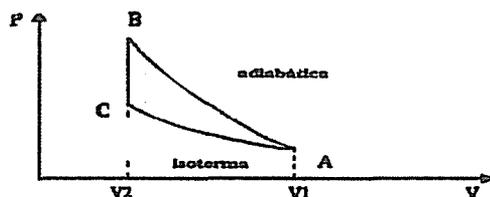
La figura muestra las transformaciones experimentadas por un gas ideal encerrado en un cilindro.



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

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.

Los resultados de este estudio sugieren que alumnos de Física básica universitaria, "ven" problemas diferentes según sean enfrentados al mismo problema enunciado verbal o gráficamente. Se interpreta que los alumnos "ven" problemas diferentes en términos de la utilización o no del primer principio de la Termodinámica, el cual se considera relevante a la hora de resolver el problema. El valor de este resultado reside en las implicaciones que pudiera tener en el ámbito de instrucción formal. Si el formato en que se presenta la información es una variable relevante a la hora de aplicar estrategias de resolución, entonces debería ser tenido en cuenta en la etapa de la instrucción. De hecho, los enunciados de los problemas que los alumnos resuelven, constituyen una variable

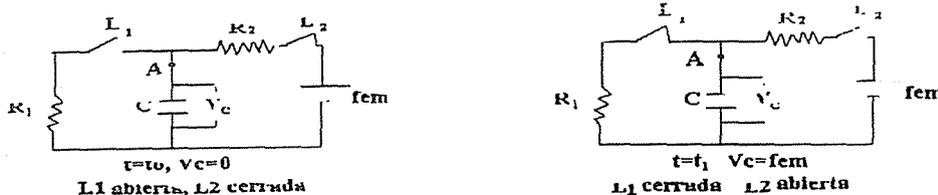
totalmente manipulada por el docente a cargo de esa tarea, la cual además está relacionada con las estrategias puestas en juego por el alumno durante la resolución.

Con el objetivo de profundizar los hallazgos anteriores, intentando una explicación para este fenómeno, se diseñó el último de los estudios: "La representación externa en la resolución de un problema de Física: una cuestión de forma o una cuestión de fondo?"². La idea básica fue analizar dos enunciados gráficos de un problema (circuito RC) a partir de una metodología de análisis desarrollada para representaciones externas y aplicada hasta el momento sólo a

² Conitiva, 2003, 15(1), 51-66.

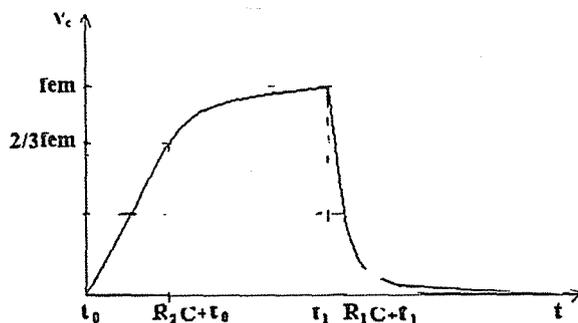
problemas lúdicos (Zhang, 1997). Los enunciados utilizados son los que siguen:

Los siguientes gráficos muestran un circuito eléctrico en dos instantes, t_0 y t_1 ($t_0 < t_1$)



- * Describir cualitativamente el comportamiento de la intensidad de corriente que circula por el punto A, para tiempos mayores a t_0
- * Comparar las intensidades de corriente en t_0 y t_1 , sabiendo que $R_2 = 2R_1$

El siguiente gráfico muestra la variación del potencial en los extremos de un capacitor (V_c) cuando se carga a través de una resistencia R_2 y se descarga a través de otra resistencia R_1



- * Describir cualitativamente el comportamiento de la intensidad de corriente que llega al capacitor para tiempos mayores a t_0
- * Comparar las intensidades de corriente en t_0 y t_1 , sabiendo que $R_2 = 2R_1$

La metodología de análisis antes nombrada permite determinar que la primera de las versiones presentada posee menos cantidad de propiedades representadas externamente que la segunda. Según los resultados observados en problemas lúdicos, esto implicaría que la segunda versión facilitaría el proceso de solución de los sujetos, si por facilitar se entiende realizar el proceso en menos número de pasos y en menos tiempo. Sin embargo, las verbalizaciones de los sujetos involucrados en el estudio mientras resuelven las dos versiones de este problema (alumnos y docentes de la carrera de Física), no coinciden con los esperados. Mientras que el número de propiedades representadas externamente facilita el camino de resolución para problemas lúdicos, no ocurre lo mismo para la resolución de problemas de Física. En este dominio, los sujetos parecen acceder más fácilmente a la información útil para resolver el problema, a partir de un enunciado que contiene menos propiedades representadas externamente (primera versión). Esto sugiere dos importantes

conclusiones. En primer lugar, estudiar una tarea para la que se requiera conocimiento específico implica la necesidad de involucrar explícitamente ese conocimiento vía la representación que guía el proceso de solución. Sin esa incorporación no es posible identificar factores que expliquen aspectos del proceso de solución. En segundo lugar, que la representación de conocimiento específico (leyes y conceptos físicos abstractos) no está libre de instancias concretas de información. Más aún, estas instancias concretas parecen “sesgar” el acceso al conocimiento formal y abstracto como los conceptos, principios y leyes físicas, actuando como “índices de entrada” en un diccionario. Estos resultados sugirieron elaborar un modelo para el proceso de solución de problemas de Física, teniendo en cuenta algunos aspectos de la organización y la construcción del conocimiento específico en el dominio de la Física con relación a la presencia de situaciones concretas vía la resolución de problemas. Una primera versión elemental de ese modelo se presenta

en el apartado que sigue.

III.B. UN MODELO PARA EL PROCESO DE SOLUCIÓN DE PROBLEMAS DE FÍSICA.

Reuniendo los resultados del apartado anterior con los resultados ya existentes de sujetos expertos y novatos en resolución de problemas de Física, se elaboró un modelo para el proceso de solución que, además de ser coherente con todos estos resultados, pretende dar cuenta de algunas características de la evolución hacia la experticia en esta tarea. Es esta última cualidad la que permite arrojar directrices para la instrucción en resolución de problemas de Física.

El modelo del proceso consiste básicamente en la construcción de un modelo de la situación a partir de la lectura del enunciado y en la incorporación a este modelo, del conocimiento específico de la Física útil para resolverlo. Mientras que la construcción de un modelo de la situación inicial es una habilidad natural de las personas que tiene como fin comprender un texto, la incorporación del conocimiento específico de la Física a esa situación inicial constituye la principal dificultad que experimentan los sujetos principiantes en esta tarea. El énfasis está puesto en esa incorporación, y en cómo ese proceso de incorporación se ve facilitado con el desarrollo de la experticia.

La propuesta consiste en suponer que la persona que está aprendiendo a resolver problemas de Física, posee inicialmente conocimiento mayoritariamente declarativo de leyes, principios y/o conceptos físicos, estructurado de acuerdo a una red de nodos³. A medida que alguno de esos elementos (principio, ley o concepto físico) representado en algún nodo de la red comienza a ser útil para resolver distintas situaciones problemáticas, ese nodo *puede* crecer, relacionarse y comenzar a actuar como condición para el conocimiento procedural. De este modo, ante la aparición reiterada de distintas situaciones físicas en las que para satisfacer la demanda se requiere cierta ley o principio, el nodo correspondiente a esa ley *puede* dar lugar a la creación de una estructura más compleja (esquema⁴ que será rellenado con información específica de cada situación) que también representa un conjunto de situaciones, correspon-

dientes a situaciones problemáticas que compartieron esa ley física para su resolución. La incorporación de este conjunto de situaciones más concretas a los principios y leyes relacionados con esas situaciones, dota a esta estructura de procedimientos para la aplicación de tales principios y leyes.

Según lo anterior, el contenido de ese esquema ya no sólo es la ley o principio correspondiente al nodo inicial, sino también son modelos de situaciones que comparten esa ley o principio porque han implicado su aplicación para satisfacer la demanda requerida. Estos modelos de situaciones dentro de esquemas generales de leyes o principios permiten al sujeto experto realizar una descripción cualitativa antes de comenzar la resolución formal, siempre que el problema a resolver pueda relacionarse con alguno de los modelos de situaciones almacenados en los esquemas.

Sin embargo, la creación de esquemas potentes y útiles para la resolución de problemas a partir de nodos representando conocimiento declarativo, no parece ser una consecuencia "natural" de enfrentar a los sujetos a una colección de problemas que describan distintas situaciones con demandas que, para ser satisfechas, requieran de la utilización de los mismos principios. El proceso por el cual los nodos representativos de leyes y principios físicos crecen hasta convertirse en esquemas con información por defecto y pueden ser efectivamente utilizados durante el proceso de solución (por ejemplo para realizar una discusión cualitativa), no parece ser un proceso rápido ni directo.

¿Qué pasa con quien no tiene experiencia previa en resolución de problemas en ese dominio específico? Esta persona no tiene ninguna posibilidad de activar ningún nodo representando alguna ley o principio, ya que no hay en ellos ninguna situación resuelta a partir de esa información. En estas circunstancias, una instrucción específicamente diseñada para favorecer un proceso virtuoso de resolución es esencial. En ausencia de esta instrucción, el sujeto posiblemente se limitará a "emparejar" datos e incógnitas vía alguna formulación matemática plausible, descartando el modelo de la situación construido en primer lugar por considerarlo inútil en su proceso de búsqueda. Si esta estrategia le permite responder con éxito la demanda del problema, la considerará eficiente para resolver futuras situaciones problemáticas. Si además, las futuras demandas pueden ser satisfechas con la estrategia anterior, el sujeto

³ Una red de nodos es un modelo de memoria utilizado ampliamente en el ámbito de la cognición.

⁴ Un esquema es un formato representacional que representa conocimiento declarativo y procedural.

terminará por considerarla como la estrategia óptima, y a utilizarla indiscriminadamente cada vez que resuelva un problema.

El procedimiento anterior trae consigo al menos dos consecuencias negativas. Una de ellas es que el proceso como tal carece de control, imposibilitando al sujeto validar resultados a la luz de un modelo situacional robusto (modelo de la situación inicial con los principios incorporados a él) y elaborar otro plan de acción en el caso que los resultados no fueran los esperados. La otra consecuencia indeseable es que el sujeto no aprende más en sintonía con el comportamiento experto, ya que la red de nodos puede crecer obedeciendo aspectos superficiales del problema como puede ser la demanda del mismo, y no por discriminación o familiarización de los aspectos físicos relevantes de las nuevas situaciones. Si bien la formulación matemática de una ley o principio podría constituir un contenido del nodo o esquema correspondiente, no contribuye por sí sola al contenido semántico de ese esquema.

Así, el almacenamiento del conjunto de situaciones que se presentan, de manera relacionada a los aspectos conceptuales utilizados durante su resolución, son importantes vehículos para el crecimiento y organización del conocimiento del sujeto. La estructura y el contenido de la red revela el proceso de aprendizaje que ha tenido lugar en ese sujeto vía la resolución de problemas, lo cual está relacionado con las características de los problemas presentados durante su instrucción. Qué situaciones resuelve el sujeto y cómo las resuelve, son factores que pueden ser manipulados por un docente seleccionando situaciones y elaborando enunciados que orienten hacia una resolución tipo experta.

III.C. IMPLICACIONES DEL MODELO EN LA INSTRUCCIÓN.

Según el modelo planteado, es poco probable que los aprendices de Física aprendan por sí mismos a resolver problemas en sintonía con el comportamiento experto. La adquisición de ciertos hábitos expertos para la resolución de problemas de Física requiere de una intervención explícita desde la instrucción. En particular, se discuten algunas posibles implicaciones que tendría el modelo propuesto con relación a los enunciados de los problemas.

El modelo de la situación constituye un elemento indispensable para un óptimo proceso de

solución al menos por tres razones:

- Orienta la búsqueda de conocimiento específico necesario para resolver el problema, comparando este modelo con otros almacenados en la memoria del sujeto
- Puede funcionar como un instrumento de control durante el proceso de solución
- Una vez resuelto el problema, el modelo puede almacenarse relacionado al/los conceptos, leyes o principios utilizados durante la resolución, potenciando esa estructura de conocimiento para futuras aplicaciones.

El modelo de la situación es un importante "nexo" entre el problema a resolver y el conocimiento específico de la Física, por lo que la instrucción debiera ser pensada para favorecer la construcción y utilización de ese modelo durante la resolución. Pero, ¿cómo se puede favorecer su construcción y utilización a partir del enunciado del problema?. En primer lugar, este modelo se construye sobre la base de las proposiciones que constituyen la descripción de la situación que el enunciado plantea, por lo que esas proposiciones tienen que adquirir significado para el lector. Si el lector es un principiante, las proposiciones debieran evitar en lo posible, la inclusión de términos referidos a conceptos físicos (al menos aquellos conceptos más alejados de su experiencia), postergando su aparición hasta el planteo de la demanda, momento en el que se supone ya construido algún modelo de la situación. Por ejemplo, un gráfico cartesiano representando la variación de alguna magnitud física en función del tiempo (u otra magnitud relevante) como parte de una descripción de la situación, requiere al novato de un costoso proceso de abstracción desviando su atención a este proceso en perjuicio de la construcción de un modelo de la situación. Si la situación requiere la incorporación de gráficos, los elementos de éstos debieran ser lo más concretos posibles. En todo caso, la construcción de gráficos cartesianos podría formar parte de la demanda del problema para promover la incorporación de elementos teóricos al modelo de la situación inicial.

En segundo lugar, todo problema plantea una situación y preguntas sobre algunos aspectos a menudo no incorporados explícitamente en la descripción de la situación. Estas preguntas constituyen la demanda del enunciado. Aquí el lector deberá necesariamente relacionar el modelo de la situación con su conocimiento disponible para satisfacer esa demanda. La secuencia de preguntas que constituyen la demanda puede orientar al sujeto hacia una mayor comprensión

de la situación, y hacia la búsqueda y recuperación de conceptos, leyes o principios físicos apropiados para la abordar la resolución del problema. Aunque tradicionalmente estas preguntas son ordenadas según orden creciente en complejidad matemática, consideramos que esa táctica no necesariamente orienta al sujeto hacia la utilización del modelo de la situación durante el proceso de solución.

Una primera inspección o búsqueda de principios o leyes potencialmente aplicables requiere de la posibilidad de acceso a esa información. En el apartado anterior se describió este estadio en términos de la activación de un nodo o esquema representando un principio, ley o concepto físico, vía algún modelo situacional contenido en ese esquema de características similares a la presentada. Esta búsqueda es bastante compleja para el principiante con escasa experiencia, y más aún para quien no tiene ningún tipo de experiencia previa. Por tal motivo, una primera instancia de la demanda podría consistir en facilitar a los principiantes la recuperación de esa información, pidiéndoles (explícita o implícitamente) que describan la situación inicial en términos de conceptos teóricos o principios potencialmente útiles para abordar el problema. Luego de la descripción, puede requerirse alguna predicción fundada en los elementos teóricos anteriores y sus posibles relaciones. Esta instancia favorecería la inserción de términos teóricos en el modelo de la situación inicial, haciendo del mismo un modelo más potente durante el proceso de solución.

La búsqueda de términos teóricos se limita mas aún luego de leer alguna pregunta que demande el cálculo de alguna cantidad, o la obtención de alguna expresión formal relacionando variables. Allí se ponen en juego varios factores latentes hasta el momento: cuál es la información que se dispone para llegar a la meta, cuáles principios, conceptos o leyes son efectivamente aplicables a la situación dada, y cuáles de ellos poseen algún formalismo matemático que posibilite el cálculo de la cantidad requerida. Son factores igualmente importantes para resolver el problema, aunque esta igualdad no se ve usualmente reflejada en la actuación de los sujetos novatos.

Mientras que la búsqueda de datos e incógnitas, y relaciones matemáticas posibles de ser utilizadas es una práctica usual en los estudiantes, el significado físico de tales formalizaciones y la corroboración de las condiciones de aplicabilidad del principio o ley física, no lo es. Por esta

razón, un camino para facilitar este procedimiento podría ser incluir una demanda específicamente diseñada para orientar al sujeto en esa dirección, previamente a la formalización matemática del problema. La intención es atribuir significado físico a la descripción matemática de la situación, es decir, aumentar la potencia del modelo de la situación construido en primera instancia.

Una vez satisfecha la demanda que involucra la formalización matemática de los conceptos teóricos, es crucial la contrastación de éstos resultados con aquellos previstos por el modelo de la situación construido en primer lugar. El "ajuste" entre las predicciones del modelo y los resultados cuantitativos, favorece el almacenamiento del modelo de la situación relacionado al nodo que representa el concepto, principio o ley en cuestión, y por lo tanto a la futura creación de un esquema de ese conocimiento.

Los enunciados de problemas podrían elaborarse respetando los estadios anteriores, utilizando una adecuada descripción de las situaciones planteadas y una adecuada secuencia de preguntas. A modo de síntesis, se listan algunas condiciones para favorecer un proceso de solución que permita desarrollar ciertos hábitos expertos en sujetos principiantes⁵ en la tarea de resolución de problemas de Física:

- Describir la situación de manera independiente de la demanda. La demanda no debiera formar parte de la descripción inicial de la situación, sino estar incorporada a posteriori de la misma, a fin de favorecer la construcción del modelo de la situación.

- La situación debiera estar descrita con la menor cantidad posible de términos teóricos complejos, así como de gráficos involucrando conceptos abstractos poco accesibles para los principiantes.

- Las primeras preguntas de la demanda debieran incluir instancias de inspección de posibles partes de la teoría (incluyendo condiciones de aplicabilidad) útiles para abordar el problema, excluyendo de modo explícito el cálculo de alguna cantidad.

- Antes de cualquier demanda que involucre algún cálculo, podría ser requerido al estudiante realizar predicciones a fin de favorecer una descripción cualitativa de la situación en términos de los principios, leyes o conceptos

⁵ Esta propuesta se refiere al periodo de instrucción previo a la instancia de evaluación (como instrumento de acreditación) correspondiente al contenido desarrollado.

elegidos anteriormente.

- Luego de algún cálculo, podrían incluirse preguntas que permitan controlar los resultados cuantitativos con predicciones cualitativas arrojadas en alguna demanda anterior.

IV. CONCLUSIONES.

A los fines de evaluar resultados y extraer conclusiones, se organizan las consideraciones finales a la luz de las preguntas enunciadas al comienzo de la sección anterior. La primera de tales preguntas se refiere a la existencia de algunas características del enunciado de un problema de Física que pudieran interferir con el proceso de solución.

En primer lugar, se puede concluir que *si existen características propias del enunciado que interfieren con el proceso de solución*. Los dos estudios descriptos en el apartado "El efecto representacional en la resolución de problemas de Física", sugieren que la información verbal y distintos tipos de información gráfica (correspondientes a la misma situación problemática), se relacionan con estrategias diferentes de solución. Se ha intentado buscar una explicación a partir de una metodología de análisis proveniente de la Psicología Cognitiva, concluyendo que este fenómeno no puede ser interpretado al margen de alguna estructura de conocimiento para el dominio de la Física. No se puede decidir "de antemano" cuáles gráficos son más eficientes a la hora de seleccionar estrategias de resolución sin suponer algún modelo para el conocimiento conceptual en el dominio de la Física por parte del que resuelve. La respuesta a la pregunta: cuáles son "los gráficos ideales" que facilitan el proceso de solución, si existiera, debería involucrar, entre otras cosas, el modelo antes mencionado.

A partir de los resultados anteriores, y en vistas a dar algunas respuestas vinculadas a la instrucción formal, se advierte la necesidad de desarrollar un modelo para el proceso de solución de problemas de Física, desde el cual ressignificar la pregunta inicial referida al formato representacional adecuado para la tarea que nos ocupa. *Una representación que guía el proceso de solución no puede ser concebida al margen del proceso mismo*. Si el interés está puesto en la tarea de resolución de problemas y en sus implicaciones para la instrucción, *es necesario contar con un modelo para el proceso de solución vinculado a alguna representación para el conocimiento específico de la Física*. En todo

caso, la representación que guía el proceso de solución, es la representación (o modelo) del proceso mismo, donde el conocimiento específico de la Física es una componente más.

Bajo la hipótesis anterior, se esbozó un modelo para el proceso de solución de un problema de Física. Este modelo permite predecir que existen otras características del enunciado de un problema que pueden, al menos en principio, orientar la cuestión relacionada a la "eficiencia" de un enunciado en términos de estrategias deseables de resolución. Esta predicción está vinculada al proceso de construcción de un modelo de la situación, que es útil para resolver el problema, y cuyas implicaciones pueden diferenciarse como de *corto* y *largo* alcance. Estas implicaciones constituyen las respuestas a la tercera de las preguntas planteadas en este estudio.

En el *corto plazo*, es posible predecir que existen enunciados que pueden contribuir al hábito de construir un modelo de la situación como parte del proceso de solución. Este hábito, usualmente ausente en los principiantes, adquiere relevancia por corresponder a una de las principales características del comportamiento experto. La adquisición de tal hábito, depende, entre otras cosas, de enunciados que presenten convenientemente las situaciones con sus respectivas demandas. Sin la pretensión de haber encontrado una lista exhaustiva de condiciones necesarias y suficientes para la elaboración de tales enunciados, se han propuesto algunos criterios para presentar situaciones y ordenar las preguntas que se hacen a partir de ella⁶.

En el *largo plazo*, adquirir el hábito de construir un modelo de la situación adquiere especial importancia por su contribución a la estructura de conocimiento. Según el modelo propuesto para el proceso de solución, los modelos de situaciones se almacenan como instancias específicas de principios y/o conceptos abstractos, aumentando así la accesibilidad a ese conocimiento ante nuevas y similares situaciones problemáticas concretas a resolver. Los modelos de situaciones almacenados junto con los principios teóricos útiles para abordar esas situaciones, potencian la estructura de conocimiento correspondiente a esos principios, *siempre que esas situaciones hayan establecido un*

⁶ Esta propuesta teórica fue implementada empíricamente con resultados positivos en un ámbito de instrucción formal. Los detalles de esta intervención pueden consultarse en el trabajo completo de tesis.

vínculo con ellos. Esta implicación que hemos denominado de largo alcance, está relacionada con los enunciados de manera indirecta a través de los modelos de las situaciones construidas y almacenadas. Esta predicción no ha sido testada empíricamente, y deja abierta la posibilidad de elaborar un diseño experimental adecuado que permita evaluarla.

En un nivel más general, creemos que *es posible y es altamente valorable enseñar a resolver problemas de Física*, si por enseñar a resolver problemas de Física se entiende implementar ciertas acciones en una clase que promuevan la utilización de estrategias "expertas" de resolución.

La posibilidad de enseñar a resolver problemas de Física, proviene de la posibilidad de modelar el proceso de solución teniendo en cuenta las ya reportadas características de sujetos novatos y expertos al resolver problemas instruccionales de Física. Un modelo acompañado de datos empíricos que lo avalen, puede orientar las decisiones que toma un docente al diseñar e implementar sus clases de resolución de problemas. Elaborar enunciados de problemas constituye un ejemplo de las decisiones anteriores.

No sólo se considera que es posible enseñar a resolver problemas de Física, sino que es sumamente conveniente hacerlo. La "solución trivial" al problema de promover la experticia en los estudiantes de Física consiste en construir una guía de problemas suficientemente extensa para que los alumnos resuelvan, asegurando algún espectro de situaciones a resolver. La conveniencia de elegir el tipo de enunciados (relacionado con las implicaciones de corto alcance del modelo del proceso antes mencionadas), y las características de las situaciones problemáticas asociadas con los conceptos y/o principios con los que se resuelven (relacionado con las implicaciones de largo alcance del modelo), reside en optimizar la eficiencia del proceso de aprendizaje dentro de las restricciones temporales reales del desarrollo de un curso de Física.

Por último, los resultados obtenidos en este trabajo permiten proyectar fructíferas perspectivas en el aprendizaje y la enseñanza de resolución de problemas en Física. En lo inmediato, el modelo propuesto para el proceso de solución es sólo una primera aproximación a esta problemática. Nuevas versiones que capten más detalles en cualquiera de los elementos postulados como partes del proceso, o bien en su relación mutua,

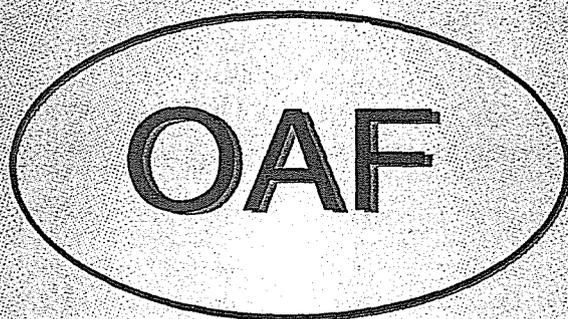
darán lugar a más predicciones empíricamente contrastables, y por lo tanto a mayor información que sirva de fundamento teórico para diseñar estrategias de enseñanza para la resolución de problemas en Física. En lo mediato, queda pendiente la cuestión de incorporar al modelo del proceso de solución elementos del contexto de aprendizaje que podrían tener importantes consecuencias en el desempeño de los alumnos de Física cuando abordan esta tarea. Aunque todavía no está claro cómo los aspectos sociológicos del aprendizaje podrían incorporarse con los aspectos estrictamente cognitivos del aprendizaje, esta cuestión presenta un importante y necesario desafío para la investigación en la enseñanza de la Física.



Ministerio de Educación, Ciencia
y Tecnología de la Nación



Facultad de Matemática,
Astronomía y Física - UNC



OLIMPIADA ARGENTINA DE FÍSICA

Secretaría OAF:

Telefax: (0351) 469-9342

Correo Electrónico: oaf@famaf.unc.edu.ar

Página web: www.famaf.unc.edu.ar

Facultad de Matemática, Astronomía y Física

Universidad Nacional de Córdoba

Ciudad Universitaria

5000 - Córdoba

Fax (alternativo): (0351) 433-4054
