

Análisis del grado de conocimiento declarativo y procedural de estudiantes en cursos de física universitaria

J.R. Martínez^{a,b}, C. Araujo-Andrade^{a,b}, S.A. Palomares-Sánchez^a y G. Ortega-Zarzosa^a

^aFacultad de Ciencias, Universidad Autónoma de San Luis Potosí,
78000 San Luis Potosí, S.L.P., México.

^bDepartamento de Físico-Matemáticas, Universidad Autónoma de San Luis Potosí.

Recibido el 4 de agosto de 2005; aceptado el 17 de marzo de 2006

Se analiza el grado de retención de conocimiento del alumno después de haber pasado por un curso de física universitaria y la habilidad para enfrentar problemas abiertos que poseen, como la mayoría de los problemas académicos, una solución conocida por anticipado. El análisis se enfoca al grado de conocimiento declarativo y de procedimiento, este último utilizando el grado de categorización basado en valoraciones de las resoluciones en un estudio semicuantitativo con base en etapas diseñadas para el análisis de respuestas escritas y cerradas de acuerdo con metodologías estándar. De los resultados inferimos que el proceso de aprendizaje al que fueron sometidos los alumnos en cuestión provocó solamente una memoria semántica rutinaria sin llegar a producir conocimientos semánticos significativos, debido a la ausencia de trabajo de procedimiento, que propicia un alejamiento de la enseñanza científica.

Descriptores: Resolución de problemas; razonamiento de estudiantes; enseñanza de la física; conocimiento declarativo; conocimiento procedural

The capacity for retaining the acquired knowledge of the students participating in one Physics course is analyzed as well as the ability to solve open problems that have a known solution. The analysis is focused to the degree of procedural and declarative knowledge; the last one was used using the categorization based in stages designed for analyzing simple written answers according with the standard methodology. From these results we inferred that the learning process of the students generate a routine semantic memory without meaningful semantic knowledge due to the absence of procedural work. This procedure favors a separation from the scientific teaching where the student is moved away from the kind of work made in the scientific environment.

Keywords: Problem solving; physics education; test and evaluation; declarative knowledge; procedure knowledge.

PACS: 01.40.-d; 01.40.Fk; 01.40.Gm

1. Introducción

En los cursos introductorios de física a nivel universitario la resolución de problemas está considerada como una actividad necesaria de cara a la familiarización de los estudiantes con la metodología científica y al aprendizaje significativo de los contenidos de física. Sin embargo, la presentación didáctica habitual de los problemas de física se basa en la identificación de aquellos como meros ejercicios de aplicación que el estudiante debe de asimilar y reproducir [1,2]. Así pues, un gran número de estudios han constatado que los estudiantes no emplean procedimientos característicos de la metodología científica a la hora de resolver problemas [3-8].

Por lo general los currículos de ciencia no favorecen la enseñanza con base en análisis cualitativo y al planteamiento de hipótesis, los currículos van más orientados al contenido y por lo regular son muy ambiciosos en cuanto a extensión. Un problema recurrente para el profesor de ciencias es la falta de tiempo en su curso.

Las conductas que desencadenan en el profesor y el alumno la resolución de problemas vienen a estar impregnadas de una serie de rutinas descontextualizadas que promueven el aprendizaje memorístico más que la oportunidad de indagar en la comprensión del contenido científico.

Es frecuente encontrarse con programas de introducción a la física en los primeros cursos de universidad que dan por

supuesto una familiarización de los estudiantes con las características principales de la metodología científica, a la hora de plantear problemas a los estudiantes y de exigirles su resolución.

Las clases tradicionales dedicadas a problemas persiguen que el alumno sepa aplicar las nociones teóricas y que aprenda a resolverlos primeros, por cuanto se supone que representan un buen medio para la adquisición de determinadas habilidades consustanciales con el aprendizaje científico, desde el cálculo matemático al diseño y aplicación de estrategias de resolución. La inclusión de problemas en los exámenes de las materias científicas supone su consideración como un instrumento evaluador.

En este trabajo se analiza por un lado el grado de retención de conocimiento del alumno después de haber pasado por un curso de física universitaria, y la habilidad para enfrentar problemas abiertos que poseen, como la mayoría de los problemas académicos, una solución conocida por anticipado. Esto es, nos enfocaremos al análisis de conocimiento declarativo y de procedimiento que tienen los alumnos, de acuerdo a Ryle [9], quien clasifica el conocimiento en dos tipos, conocimiento declarativo y de procedimiento, en donde el declarativo comprende el saber descriptivo o factual susceptible de ser expresado y el de procedimiento se describe como todos aquellos procedimientos disponibles por

el individuo para actuar sobre su entorno. Tulving introduce la distinción entre memoria semántica y memoria episódica [10,11]. La memoria semántica tiene una estructura organizada jerárquicamente [12] que podría no estar asociada a la estructura lógica [13]. La memoria semántica comprende los conocimientos permanentes que no se encuentran relacionados con los momentos concretos en los que fueron adquiridos dichos conocimientos. La memoria episódica no tiene organización estructural pero sí espacio-temporal. Esta memoria está relacionada con los recuerdos personales. Ambas memorias, semántica y episódica, pueden ser incluidas en la memoria declarativa [14,15]. Ausubel *et al.* consideraron que el aprendizaje podría ser analizado en un continuo que va del aprendizaje memorístico rutinario al significativo [16]. Este último puede producirse cuando la nueva información se relaciona “de modo no arbitrario y substancial con lo que el alumno ya sabe”. Los conocimientos descriptivos o factuales que un individuo tiene sobre el mundo son organizados por la memoria declarativa diferenciada en tres niveles: memoria semántica significativa, memoria semántica rutinaria y memoria episódica.

Estudios de exploración de cómo los estudiantes universitarios de primer curso de ingeniería emiten hipótesis construyendo su propia estructura de vías de solución cuando enfrentan problemas de física, usando metodologías estándar para análisis de respuestas escritas, ha sido abordada por J. Guisasaola y colaboradores [17], encontrando que los estudiantes emiten hipótesis sin la rigurosidad y características que un procedimiento científico requiere, las hipótesis emitidas están más relacionadas con sus interpretaciones subjetivas y personales sobre el marco teórico estudiado que con una comprensión significativa del mismo; sus resultados son convergentes con otros estudios desarrollados por Song y Black [18].

Es en el dominio de la mecánica donde han sido estudiadas más a fondo las capacidades de los alumnos para resolver problemas de física. La resolución de problemas ha sido utilizada por psicólogos cognitivos y los investigadores en ciencias cognitivas como un contexto permitiendo analizar los procesos de pensamiento. En estudios realizados por Reif la resolución de problemas ha sido analizada a partir de tres etapas: descripción y análisis del problema, construcción de una solución y control de la solución; el análisis de esas etapas mostró que los componentes de la resolución de problemas son muy complejos para ser aprendidos a partir de ejemplos y de la práctica, la capacidad de resolver problemas depende no solamente del aprendizaje de los procedimientos sino también de la capacidad de hacer uso de los saberes anexos apropiados [19-21].

Numerosos estudios sobre resolución de problemas han constatado la falta de conocimientos procedimentales de los estudiantes, aunque sí dominan de una manera implícita algunas de esas destrezas. Es decir, los estudiantes, al resolver problemas, economizan tiempo y esfuerzo y no sienten la necesidad de explicitar el conocimiento procedimental, simplemente buscan el resultado correcto [22-26].

2. Hipótesis y metodología

De acuerdo a la experiencia se ha logrado notar que los estudiantes que logran acreditar un curso de física, eventualmente se topan con obstáculos a la hora de manejar conceptos que previamente han visto y analizado y requieren para estudiar nuevas leyes físicas. De acuerdo a esto establecemos dos hipótesis. En la primera suponemos que al no lograrse un aprendizaje significativo se presenta eventualmente una degradación del conocimiento de tal forma que, en este sentido, no existen diferencias entre alumnos que reprobaron el curso con aquellos que logran pasarlo. En la segunda hipótesis suponemos que los estudiantes no emplean procedimientos característicos de la metodología científica a la hora de resolver problemas, incluso cuando se les pide explícitamente que utilicen determinadas características de la metodología científica no son capaces de hacerlo. Para constatar nuestras hipótesis e indagar en el conocimiento que los estudiantes poseen y activan en la resolución de problemas utilizamos las siguientes metodologías. En ambos casos, el análisis de resultados se enfocan al grado de conocimiento declarativo y procedural.

Para abordar la primera hipótesis hemos elaborado 21 situaciones problemáticas que requieren, para su solución, la utilización de conocimiento concreto. Las situaciones problemáticas se diseñaron como opción múltiple, entre cinco respuestas planteadas. Las situaciones problemáticas presentan una estructura cerrada y familiar a los problemas que los estudiantes realizan habitualmente en el aula.

Los problemas elaborados fueron aplicados a un total de 250 estudiantes, inscritos en la Universidad Autónoma de San Luis Potosí, distribuidos en ocho grupos, un mes después de haber terminado el curso regular de física, correspondiente a la parte de mecánica, y que se han inscrito a un segundo curso de física, que se centra en otros temas. Los problemas fueron similares a los que en su oportunidad fueron aplicados en exámenes regulares. Entre estos grupos se cuentan estudiantes que reprobaron el curso anterior y estudiantes que lo aprobaron. Los estudiantes corresponden a carreras de ingeniería y a la carrera de física.

Con el fin de ilustrar los resultados se selecciona un grupo representativo de 21 estudiantes, a estos resultados se le aplica métodos multivariantes, en particular el análisis de componentes principales, conocido como PCA por sus siglas en inglés, como un intento de obtener clasificaciones y en trabajos posteriores, poder construir modelos de predicción y de clasificación de grados de conocimiento y cognitivos. El análisis de componentes principales es una herramienta útil cuando se requiere encontrar relaciones ocultas o latentes entre conjuntos de datos. En este caso el análisis de componentes principales nos sirve para visualizar agrupaciones entre estudiantes de acuerdo al tipo de respuesta según la pregunta cerrada. Los resultados para el grupo representativo son procesados en el software comercial “The Unscrambler v 8.0 by CAMO” y obtenemos el mapa de respuestas que representa

una matriz de alumnos contra número de pregunta, así como los resultados de análisis de componentes principales.

Por su parte, para la segunda hipótesis, con el fin de indagar la familiarización del estudiante que cursa una carrera científica, como la física, con las características principales de la metodología científica, se consideró una serie de cinco situaciones problemáticas, con enunciado general, que fueron aplicadas a un pequeño grupo de diez estudiantes de física que cursaban quinto semestre. Dichos estudiantes habían cursado todos aquellos cursos básicos tanto teóricos como experimentales.

Los problemas planteados tenían la finalidad de detectar la habilidad para enfrentar problemas abiertos que poseen, como la mayoría de los problemas académicos, una solución conocida por anticipado. Utilizando para el análisis de resultados, el grado de categorización basado en valoraciones de las resoluciones en un estudio semicuantitativo con base en estadios diseñados para el análisis de respuestas escritas y cerradas de acuerdo con metodologías estándar [26-30].

El abordaje de problemas se realizó en dos etapas, en la primera se dejó al grupo de alumnos durante una semana abordar la serie de situaciones problemáticas y plantear verbalmente sus estrategias de resolución y abordaje de los problemas. En esta etapa los problemas contaban con enunciado muy general sin ninguna indicación explícita sobre procedimientos propios de la metodología científica.

En la segunda etapa los alumnos dispusieron de un semestre para contestar las situaciones problemáticas y se permitió el trabajo en grupo; en esta etapa se explica al estudiante los procesos básicos de un análisis cualitativo, así como la estructura de ciertos pasos metodológicos similares a los que podrían realizar para abordar las situaciones problemáticas planteadas, y la asesoría durante el resto del semestre. Así se explicita que analicen de manera cualitativa aspectos concretos como la identificación de observables y la relación que guardan entre ellas. Así mismo, se les remarcó el carácter explicativo de las respuestas y la necesidad de justificar en algún momento relaciones entre cantidades físicas de manera experimental, buscando significados físicos no exclusiva-

mente operativos. Para lo cual deberían entregar un informe por escrito.

Los protocolos utilizados para la valoración de los reportes escritos que incluyen las resoluciones realizadas por los estudiantes se basan en una categorización de respuestas que son más o menos próximas a las características de la metodología científica sobre las que existe un amplio consenso, planteadas por Guisasola *et al.* [17] y que consisten en cuatro niveles (Tabla I). Según el primero, cuando los estudiantes no utilizan los procedimientos científicos referentes al análisis cualitativo y a la emisión de hipótesis en un intento de resolución de una situación problemática se les asigna el nivel 0, y, en base al segundo criterio, cuando mencionan o utilizan más inferencias o visiones personales que los procedimientos científicos se incluyen en los niveles 1 y 2. Los niveles 3 y 4 corresponden a respuestas acordes con los procedimientos científicos, y por tanto de elevada capacidad procedimental.

3. Resultados y discusión

3.1. Problemas cerrados. Hipótesis 1

Los resultados, para la parte correspondiente a la evaluación de la retención de conocimiento, nos dice que la media en el número de respuesta es de 4.7 respuestas correctas contra las 21 planteadas, con un semiancho medio de 3.9. La media corresponde al resultado esperado en alumnos que no han llevado el curso. Cabe resaltar la presencia de alumnos que tuvieron cero respuestas correctas. Es claro que el grado de conocimiento es muy bajo, situación que no se presentaba necesariamente en el momento de aplicar los exámenes en el curso regular, a pesar de tener alumnos que reprobaron el curso. Esto nos indica que el grado de retención es prácticamente nulo y se presenta una degradación del conocimiento.

Con respecto a la estructura del examen, cuatro de las 21 preguntas, requerían la interpretación gráfica, de estas sólo hubo el 20 % de aciertos. Cinco de las preguntas requerían identificación de relaciones por comparación y uso de descomposición directa de vectores; el resultado de aciertos fue

TABLA I. Esquema de codificación del reporte escrito de los estudiantes para las diferentes situaciones problemáticas.

Nivel	Categoría de respuesta
0	No reconoce el marco teórico de referencia donde se sitúa la situación problemática. No acota la situación para modelarla y simplificarla si es preciso.
1	Explica el marco teórico donde se sitúa la situación problemática. No predice la posible evolución del sistema, ni identifica correctamente las variables principales en la evolución del problema.
2	Explica el marco teórico donde se sitúa la situación problemática e identifica correctamente alguna de las variables principales en la evolución del problema. Sin embargo, no establece procesos de control y exclusión de variables. No establece relaciones correctas entre las variables y/o no las justifica.
3	Explica el marco teórico donde se sitúa la situación problemática e identifica correctamente las variables principales en la evolución del problema. Además, establece relaciones correctas entre las variables y las justifica.
4	Explica el marco teórico donde se sitúa la situación problemática e identifica correctamente las variables principales en la evolución del problema. Además, establece relaciones correctas entre las variables y las justifica analizando algunos casos límite de interés.

TABLA II. Cinco de las 21 preguntas, las cuales de acuerdo al mapa de respuestas tendrían los menores, mayores y ningún acierto para el grupo representativo.

Pregunta	Redacción
1	¿Cuál de las siguientes magnitudes no es un vector? a) Velocidad b) Aceleración c) Trabajo d) Campo eléctrico e) Fuerza
7	De la energía no se puede afirmar que: a) es transformable b) es una magnitud escalar c) se puede almacenar d) se puede transportar e) se puede crear
9	Un cuerpo de 10 kilogramos-peso, se mueve con una velocidad de $v=10$ m/s. Se le aplica una fuerza, de tal modo que el cuerpo se detiene un segundo después. ¿Cuál es la magnitud de la fuerza aplicada? a) 100 Newton b) 98 Newton c) 2 Newton d) -100 Newton e) -98 Newton
11	Un cuerpo de 17 Kg, al aplicarle una fuerza neta constante durante 4 segundos acelera uniformemente. Si parte del reposo alcanzando una rapidez de 12 m/s en ese tiempo, la magnitud de la fuerza será: a) -3 m/s^2 b) 3 m/s^2 c) -3 Newton d) 0 Newton e) 51 Newton
21	Si la ecuación de movimiento de un móvil se representa por: $(t+2)(t-5)$, entonces el número asociado a la magnitud de la aceleración es: a) 1 b) 2 c) 3 d) 6 e) 10

de 32 %. Dos de las preguntas se basaban en definiciones, sólo el 7 % de las respuestas fueron acertadas. Cinco de las preguntas requerían el cálculo a través de una relación directa, 17 % de las respuestas fueron acertadas. Finalmente, cinco de las preguntas requerían cálculo previo para encontrar valor numérico a través de dos relaciones. 24 % fueron acertadas.

El mapa de respuestas para uno de los grupos representativos de 21 alumnos, se presenta en la Fig. 1, en donde la única posibilidad es respuesta correcta o respuesta incorrecta, y representa una matriz de alumnos contra número de pregunta.

En la Tabla II se presentan a manera de ilustración cinco de las 21 preguntas, por razones de espacio, las cuales de acuerdo al mapa de respuestas tendrían los menores, mayores y ningún acierto para el grupo representativo.

Los resultados son un reflejo del enfoque curricular en el que se presta atención sólo a lo “qué” la física conoce, descartando el “cómo” la física ha alcanzado ese conocimiento. Sobre todo cursos que se basan en libros de texto que presentan los cambios en el conocimiento científico prestando muy poca atención a la dinámica que los indujo.

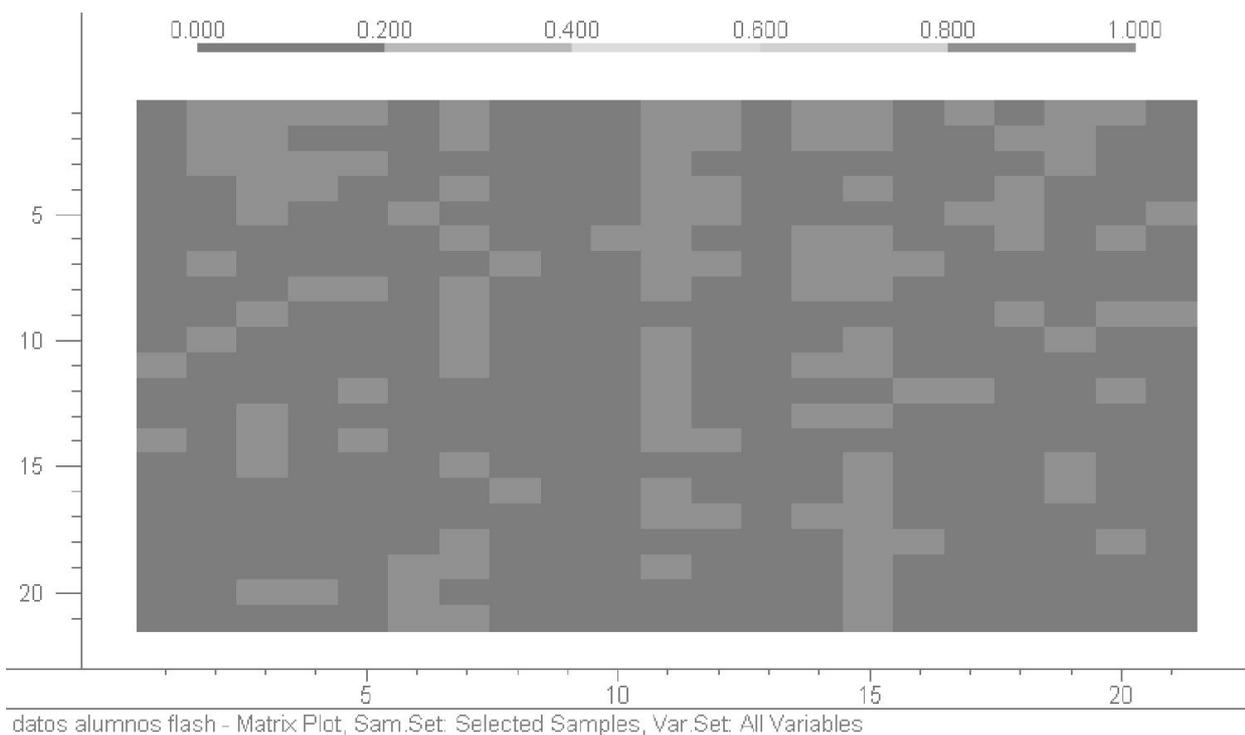


FIGURA 1. Mapa en forma matricial de un grupo representativo de 21 alumnos contra las 21 preguntas para analizar grado de conocimiento. Las zonas claras indican respuestas correctas.

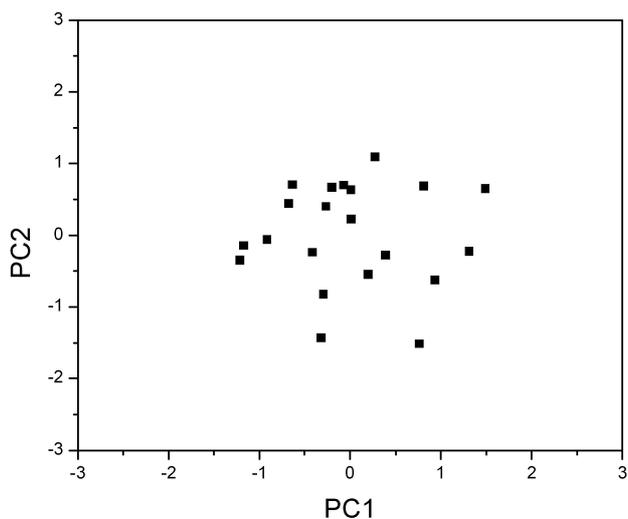


FIGURA 2. Resultados de análisis de componentes principales (PCA) para el grupo representativo de la Fig. 1.

Un intento de clasificación, usando métodos multivariantes, en particular, análisis de componentes principales (PCA, por sus siglas en inglés) para el mismo grupo representado por el mapa de la Fig. 1, nos presenta una única agrupación con una dispersión regular producida por los diversos tipos de respuesta. En este nivel no se pretende hacer un análisis detallado en cuanto a las componentes PC1 y PC2 y su relación con el tipo de respuestas, únicamente indicaremos que PC1 se relaciona con el número de respuestas correctas y nos permite identificar grupos de alumnos, que en este caso es uno sólo. Cuando consideramos el tipo de respuesta

que tuvieron algunos alumnos del grupo descrito en la figura anterior que aprobaron el curso regular, encontramos que en su momento eran capaces de contestar a un buen número de respuestas correctas, cuando los consideramos usando PCA encontramos la agrupación presentada en la Fig. 3. Los puntos correspondientes a valores de PC1 positivos representan los alumnos que en su oportunidad habían contestado correctamente a preguntas similares en su curso regular. Estos mismos alumnos se sitúan en la parte correspondiente a valores negativos de PC1 al realizar un examen similar meses después y que se ha discutido líneas arriba. Estudios detallados utilizando análisis multivariante a fin de construir modelos de predicción y de clasificación de grados de conocimiento y cognitivos, se encuentran en proceso.

Los resultados en cuanto a la degradación de conocimiento, si bien son críticos en el caso particular analizado, son comunes a los alumnos de diferentes nacionalidades, originarios de medios socioculturales diferentes y de niveles de enseñanza y de edades diversas. Frecuentemente hay pocos cambios dentro de la comprensión conceptual antes y después de una enseñanza formal. Resultados de investigación han demostrado que los estudiantes salen frecuentemente del curso de introducción a la física con numerosas creencias incorrectas equivalentes a aquellas que tenían antes de la enseñanza [31-36].

Una de las dificultades detectadas en nuestro estudio es la referente a la interpretación gráfica, en la muestra sólo se tuvo el 20 % de aciertos de cuatro preguntas. Esto concuerda con otro estudio descriptivo que se llevó a cabo durante siete años y que utilizó a centenares de estudiantes de universidad,

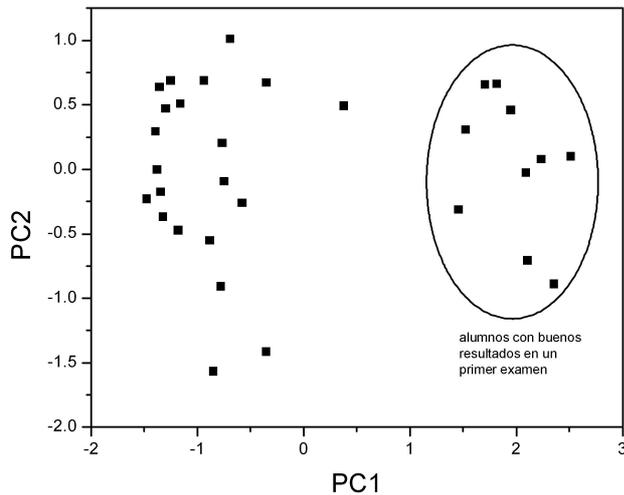


FIGURA 3. Resultados de PCA para el grupo de la figura 1 incorporando los resultados de aquellos alumnos que aprobaron el curso en su oportunidad.

el cual ha contribuido a identificar un cierto número de dificultades encontradas por los estudiantes al hacer la vinculación entre los conceptos de cinemática, sus representaciones gráficas y los movimientos de objetos reales [31]. Otro estudio evidenció las dificultades específicas de los alumnos relativas a las representaciones gráficas de velocidades negativas [32].

De los resultados se desprende que los estudiantes presentan serias dificultades en el concepto y manejo de vectores, situación que contrasta con otros estudios en los cuales, si bien existen dificultades, los estudiantes son medianamente exitosos en estas tareas, de acuerdo a resultados presentados por Reif en cuyo trabajo se les preguntaba a los estudiantes si los objetos aceleraban, desaceleraban o se desplazaban a velocidad constante y seguidamente debían dibujar los vectores velocidad para los puntos indicados [33].

Un error recurrente es que los estudiantes suponen que la relación entre fuerza y velocidad es lineal, situación que concuerda con resultados de estudios en los que se analizan en qué medida los estudiantes aplican de forma consistente diferentes concepciones sobre la fuerza en contextos variados [34,35].

Debemos mencionar que cualquiera que sea la prueba de selección múltiple, es imposible decir si una respuesta dada

ha sido con las razones subyacentes erróneas. Tales pruebas pueden ser utilizadas como indicadores del estado inicial de los alumnos individualmente. Sin embargo, cuando son utilizados después de la enseñanza, un buen resultado de esas pruebas debería ser considerado como una condición necesaria pero no suficiente en la adquisición de una comprensión conveniente [36]. De esta forma nuestros resultados indican que el aparente éxito (24 % de acierto) en las preguntas que requerían cálculo previo para encontrar valor numérico a través de dos relaciones, esto es, la facilidad para resolver problemas cuantitativos, no es un criterio apropiado para la comprensión funcional, es decir, la capacidad de realizar un razonamiento necesario para aplicar los conceptos y principios apropiados dentro de las situaciones hasta ahora no memorizadas y que se reflejan en el bajo porcentaje de aciertos en los grupos de preguntas mencionados anteriormente.

3.2. Problemas abiertos. Hipótesis 2

En la segunda serie de situaciones problemáticas planteadas al grupo de estudiantes de la carrera de física, se han planteado en una primera fase preguntas muy generales que requieren elaborar toda una serie de estrategias para su solución. Por lo que requieren la emisión de hipótesis como una parte integrada en el proceso global de solución. Algunas de las situaciones planteadas son: a) (S1) calcular la frecuencia de vibración de una cuerda; b) (S2) determinar el contenido de carbohidratos en una solución; c) (S3) determinar la distancia a la que cae un objeto al ser lanzado; d) (S4) estimar el número de personas que circulan diariamente en una plaza comercial; e) (S5) identificar el contenido en una lámpara fluorescente.

El 100 % de los estudiantes manifestaron una imposibilidad para su solución en virtud de falta de datos. Esta actitud encierra una fuerte dependencia en las actitudes instrumentales. En una segunda etapa elaboramos las preguntas con información específica para el análisis que se solicita, pretendiendo centrar el análisis en la emisión de hipótesis y en la realización de análisis cualitativo. Así se explicita que analicen de manera cualitativa aspectos concretos como la identificación de observables, y la relación que guardan entre ellas. En la Tabla III se presenta como ejemplo la redacción para la primera y segunda etapa de la situación problemática 5.

TABLA III. Situación problemática cinco presentada a los estudiantes en primera y segunda etapa.

Contenido de una lámpara fluorescente.

Redacción en Primera etapa: identificar el contenido de una lámpara fluorescente.

Redacción en Segunda etapa: Al conectar una lámpara fluorescente ésta emite luz debido a la excitación de un material fluorescente que recubre al tubo de la lámpara: a) Razona cómo puede producirse la excitación del material fluorescente. b) Razona qué cantidades físicas (observables) están involucradas en la producción de luz y qué relación guardan entre ellas. c) Analiza las situaciones de especial relevancia física que dentro del contexto del problema consideres que se pueden producir para ciertos valores característicos de los observables descritos en el inciso anterior. d) Puedes usar cálculos matemáticos, pero en algún momento debes de justificar de manera experimental la relación entre observables.

En esta segunda fase los alumnos dispusieron de un semestre para contestar cinco situaciones problemáticas y se permitió el trabajo en grupo, a diferencia de las pruebas que sobre análisis cualitativo han sido reportadas en la literatura y a las que se les da una hora para su solución, con preguntas específicas que guían el abordaje del problema y que son resueltas de manera personal. Así mismo, se les remarcó el carácter explicativo de las respuestas y la necesidad de justificar en algún momento relaciones entre cantidades físicas de manera experimental, buscando significados físicos no exclusivamente operativos. Para lo cual deberían entregar un informe por escrito. Los informes escritos de los estudiantes revelan su pensamiento y pueden ampliar nuestro conocimiento acerca del proceso de construcción de hipótesis que realizan [37].

Los protocolos utilizados para la valoración de los reportes escritos que incluyen las resoluciones realizadas por los estudiantes se basan en una categorización de respuestas que son más o menos próximas a las características de la metodología científica sobre las que existe un amplio consenso, planteadas por Guisasola *et al.* [17] y que consisten en cuatro niveles. Según el primero, cuando los estudiantes no utilizan los procedimientos científicos referentes al análisis cualitativo y a la emisión de hipótesis en un intento de resolución de una situación problemática se les asigna el nivel 0, y, en base al segundo criterio, cuando mencionan o utilizan más inferencias o visiones personales que los procedimientos científicos se incluyen en los niveles 1 y 2. Los niveles 3 y 4 corresponden a respuestas acordes con los procedimientos científicos, y por tanto de elevada capacidad procedimental.

De acuerdo a lo anterior, la primera fase en la cual se dejó al grupo de alumnos durante una semana abordar la serie de situaciones problemáticas y plantear verbalmente sus estrategias de resolución y abordaje de los problemas, el 100 % de los alumnos se sitúan en el nivel 0.

Al considerar la segunda fase en la cual se explica al estudiante los procesos básicos de un análisis cualitativo, así como la estructura de ciertos pasos metodológicos similares a los que podrían realizar para abordar las situaciones problemáticas planteadas, y la asesoría durante el resto del semestre, se obtuvieron los siguientes resultados.

Para la situación 1: calcular la frecuencia de vibración de una cuerda. De acuerdo al reporte escrito la situación fue abordada mediante tres partes, en la primera (S1/p1) utilizaron un monocordio y una guitarra como sistema de análisis. En esta parte los alumnos se situaron en el nivel 2, ya que explican el marco teórico en el que se sitúa la situación problemática, no predicen satisfactoriamente la evolución del sistema y sólo identifican una de las variables principales. De su análisis establecen que “a mayor longitud, el sonido es más grave”, mientras que “a menor longitud, el sonido es más agudo”; por lo tanto, “a mayor longitud hay menor frecuencia y a menor longitud hay mayor frecuencia”.

Como puede observarse, en el análisis dejan fuera al menos tres de las variables principales que dan razón de la evolución del sistema. Como veremos es en la última parte del

problema que recuperan esta observación y aplican análisis dimensional para determinar la relación que media entre dichas variables.

En la segunda parte del problema (S1/p2), según su propia clasificación, utilizan un generador de ondas mecánicas, en el cual identifican que la frecuencia es una variable controlada. Lo que realizan son observaciones en las cuales cambian la tensión de la cuerda con el uso de balines y observaban, de acuerdo a sus palabras, los modos de vibración de la cuerda. En esta parte los alumnos se sitúan en el nivel 1, en el cual si bien explican el marco teórico donde se sitúa la situación problemática, no predicen la evolución del sistema ni identifican correctamente las variables principales.

En la tercera parte del problema (S1/p3), los alumnos proceden a realizar mediciones, de acuerdo a la identificación de observables realizada en la primera parte, usan el monocordio, la guitarra, un osciloscopio y un transductor de sonido a señal eléctrica, pretendiendo con esto observar las diferentes frecuencias que emitía el monocordio y la guitarra al ir cambiando la longitud de la cuerda, así como el grosor de la misma. En esta parte realizan mediciones, las representan gráficamente, simplemente uniendo los puntos experimentales con líneas entre ellos; en esta representación gráfica muestran solamente las mediciones de frecuencia en función de la longitud de la cuerda. No muestran el comportamiento de la frecuencia en términos del grosor de la cuerda, aunque la mencionan en el reporte. En esta parte se sitúan en el nivel 2.

En la cuarta parte del problema (S1/p4), según su clasificación, realizan análisis dimensional, utilizando las variables de longitud de la cuerda, grosor de la cuerda y tensión aplicada a la cuerda en términos de la frecuencia de vibración. Establecen relaciones entre cada una de ellas, suponemos, aunque no lo indican, que consideran las demás variables inalterables, esto es, suponen un control sobre ellas. Obtienen correctamente la relación entre cada una de ellas en términos de la frecuencia, hacen una generalización y obtienen una relación final, que es correcta. En esta parte los alumnos se sitúan en el nivel 3, ya que explican el marco teórico donde se sitúa la situación problemática e identifican correctamente las variables principales en la evolución del problema. Además, establecen relaciones correctas entre las variables y las justifican, mediante observaciones y análisis dimensional.

Para la situación 2 (S2): Determinar el contenido de carbohidratos en una solución. Se restringen a la realización de una práctica común de determinación de azúcar en solución usando un polarímetro. De acuerdo al reporte, los alumnos siguen estrictamente los pasos indicados en la práctica correspondiente al equipo que utilizaron. Sin embargo, detalles como el análisis de resultados de la medición y predicción de contenidos de azúcar para cualquier tipo de solución, no es realizado. La identificación de variables son las propias que se indican en la práctica, y los alumnos no hacen una justificación de ello ni de la relación entre ángulo de polarización y concentración de azúcar. Del reporte podemos situar a los alumnos en el nivel 1.

Como último ejemplo de análisis consideramos la situación 5 (S5): Identificar el contenido de una lámpara fluorescente. Esta situación es la más ampliamente abordada por el grupo de alumnos, de acuerdo al reporte los alumnos logran explicar el marco teórico donde se sitúa la situación problemática, identifican correctamente las variables principales en la evolución del problema, realizan una serie de experiencias en las cuales analizan los espectros de emisión de diversas lámparas y tubos de gas y miden sus espectros de emisión determinando intensidades y longitudes de onda y su relación con el color. Identifican la diferencia entre espectros continuos y discretos. De acuerdo a sus resultados miden el espectro de emisión de la lámpara fluorescente y comparan con la serie de espectros medidos. Podemos decir que logran establecer relaciones correctas entre las variables y las justifican analizando casos límite de interés. De acuerdo a ello, los alumnos, en esta situación problemática, se sitúan en el nivel 4.

Los resultados, sintetizados en la Fig. 4, nos indican la notoria tendencia a no tener en cuenta todas las variables que influyen en un problema. Situación que es denominada por la investigación didáctica como reducción funcional [38]. Estos resultados son coherentes con una enseñanza tradicionalista de problemas que no tiene en cuenta el pensamiento divergente y la imaginación como características necesarias del conocimiento científico en una primera fase de análisis cualitativo dirigida a acotar la situación para modelarla y simplificarla si es preciso, de acuerdo a lo reportado por Guisasola [17]. Los resultados empeoran cuando se mide la emisión de hipótesis sobre las relaciones de dependencia entre las variables previamente identificadas así como cuando se analizan casos límite de especial relevancia física.

El tipo de trabajo que se promovió durante el semestre, acercándolo al escenario científico, provocó una mejoría en sus niveles de actitudes procedimentales, aunque no las que se deben de esperar en alumnos de una carrera científica.

Los errores de los estudiantes detectados en los reportes escritos nos indican que estos presentan una incapacidad pa-

ra realizar análisis cualitativo y emisión de hipótesis, ingredientes básicos en el trabajo científico. Estos resultados son convergentes con los reportados por Guisasola y col [3,17] y los reportados por Song y Black [18].

4. Conclusiones

Los resultados obtenidos parecen indicar que las estrategias de enseñanza utilizadas en clase para la resolución de problemas no favorecen que los estudiantes aprendan habilidades básicas para enfrentarse a problemas científicos, sino más bien les llevan al aprendizaje repetitivo de una serie de razonamientos erróneos que les conducen al fracaso.

El conocimiento declarativo sufre una degradación a tal grado que no existen diferencias en el tipo de respuestas en alumnos reprobados con respecto a alumnos aprobados. Lo más grave es que el nivel de conocimientos en física que presentan los alumnos es muy pobre.

Parece ser que el grupo de estudiantes analizados se sometieron a una enseñanza en la que los fragmentos de información, que en su momento fueron "aprendidos" no llegaron a ser comprendidos, en el sentido que comprender algo supone establecer relaciones con otros elementos [39], dichos fragmentos de información fueron aislados y olvidados resultando inaccesibles a la memoria.

De acuerdo al modelo integrador propuesto por de Posada [40], el proceso de aprendizaje al que fueron sometidos los alumnos en cuestión provocó solamente una memoria semántica rutinaria sin llegar a producir conocimientos semánticos significativos, debido a la ausencia de trabajo de procedimientos, que propicia un alejamiento de la enseñanza científica, en la cual no se le familiariza al estudiante con el tipo de trabajo que se realiza en ciencia.

Los estudiantes presentan una incapacidad para realizar análisis cualitativo y emisión de hipótesis, ingredientes básicos en el trabajo científico.

Una organización de la clase en grupos de estudiantes que trabajan juntos para dar sentido al problema que analizan y que aplican conocimiento de manera normativa, puede tener un mayor potencial para aumentar el desarrollo epistemológico y científico de los estudiantes que aquellas clases en las que los alumnos realizan ejercicios de forma mecánica y repetitiva, como reflejan los resultados al fin de semestre de los alumnos de la carrera de física.

Estudios detallados, utilizando análisis multivariante a fin de construir modelos de predicción y de clasificación de grados de conocimiento y cognitivos, se encuentran en proceso.

De acuerdo a los resultados presentados y a evidencias en las cuales, estudiantes que han hecho la experiencia de resolución de problemas cualitativos, mismos que resuelven con más facilidad los problemas cuantitativos, que aquellos que han pasado más tiempo resolviendo los problemas tradicionales [41,42] nos sugiere, de acuerdo con Guisasola [17], que una posible vía para lograr un conocimiento declarativo y de procedimiento significativo consiste en promover actividades en las clases de física donde los estudiantes puedan ex-

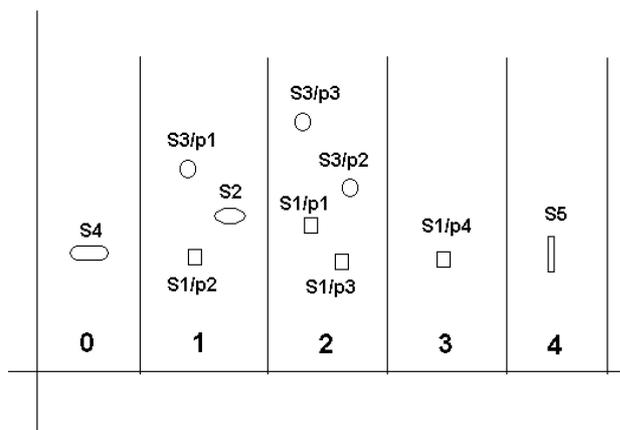


FIGURA 4. Esquema de codificación de resultados de la categorización de las respuestas a las cinco situaciones problemáticas para la segunda etapa.

perimentar prácticas socioculturales sobre el origen de criterios epistemológicos para evaluar la actividad científica, ésta puede ser una prometedora estrategia educativa en la resolución de problemas. Los procedimientos de análisis cualitativo de la situación y la consiguiente emisión de hipótesis son de considerable valor en el aprendizaje, ya que permiten no sólo manejar los conceptos sino hacer ciencia. Los procedimientos incluidos en el análisis cualitativo llevan a los estudiantes a buscar significados en las situaciones problemáticas que les permitan realizar una transición racional del fenómeno observado a las estrategias de resolución establecidas en el marco teórico. Así pues, será necesario el diseño de materiales didácticos que estimulen a los estudiantes a realizar

aproximaciones cualitativas a los problemas incluyendo no sólo lo *que* la física conoce, sino también *cómo* la física ha alcanzado ese conocimiento. Material de este tipo puede ayudar a los alumnos a desarrollar una comprensión cualitativa del material a partir de la experiencia o de la observación. Las matemáticas frecuentemente son enseñadas desde muy temprano a través de una presentación típica. Lamentablemente, una vez que las ecuaciones aparecen, los alumnos tienen una tendencia a evitar analizar cualitativamente las situaciones. En la resolución de problemas el formalismo matemático debería ser retenido hasta que los alumnos tengan una cierta práctica de razonamiento cualitativo concerniente al fenómeno estudiado.

1. D. Gil y J. Carrascosa, *Sci. Educ.* **78** (1994) 301.
2. A. Oñorbe y J.M. Sánchez, *Enseñanza de las Ciencias* **14** (1996) 251.
3. J. Guisasola, J.M. Almudi, M. Ceberio y J.L. Zubimendi, *Inv. Innov. Ens. de las Ciencias* **2** (1998) 140.
4. R.A. Duschl, *Sci. Educ.* **72** (1988) 51.
5. D. Gil y J. Martínez-Torregrosa, *Problem solving in physics: a critical analysis*, in *Research on Physics Education*, (1984: Paris: CNRS editors).
6. F.J. Perales, *Rev. Ens. de las Ciencias* **11** (1993) 170.
7. F.J. Perales, *Resolución de problemas* (2000, Editorial Síntesis, Madrid).
8. D.P. Maloney, *Handbook of Research on Science Teaching and Learning* (1994) p.327.
9. G. Ryle, *The concept of mind* (1949, Nueva York: Penguin Books).
10. E. Tulving, *Episodic and semantic memory*, En E.W. Tulving y W. Donaldson (eds.) *Organization memory*. (Nueva York: Academic Press, 1972).
11. E. Tulving, *Memory systems* (Cambridge, MA: MIT press, 1994).
12. A.M. Collins y M.R. Quillian, *Journal of verbal learning and verbal behavior* **8** (1969) 240.
13. L.J. Rips, E.J. Shoben y E.E. Smith, *Journal of verbal learning and verbal behavior* **12** (1973) 1.
14. L.R. Squire, *Science* **232** (1986) 1612.
15. J.M. Ruiz-Vargas, *Psicología de la memoria* (Madrid: Alianza editorial, 1994).
16. D.P. Ausubel, J.D. Novak y J. Hanesian, *Educational psychology*, Second ed. (New York: Holt, Rinehart y Winston, 1978).
17. J. Guisasola, C. Furió, M. Ceberio y J.L. Zubimendi, *Rev. Ens. de las Ciencias*, N. extra (2003) 17.
18. J. Song y P.J. Black, *Intern. J. of Sci. Education* **14** (1992) 83.
19. F. Reif, *The Physics Teacher* **19** (1981) 310.
20. F. Reif, *Acquiring an effective understanding of scientific concepts*, in L.H.T. West and L. Pines (eds.), *Cognitive structure and conceptual change*, (Orlando, FL: Academic Press, 1985) p. 133.
21. F. Reif, *Am. J. of Phys.* **63** (1995) 17.
22. P. Kirschner, M. Meester, E. Middelbeek y H. Hermans, *Intern. J. of Sci. Education* **15** (1993) 175.
23. A. Lawson, *Enseñanza de las Ciencias* **12** (1994) 165.
24. M. Bandeira, F. Dupre, M.G. Ianniello y M. Vicentini, *Enseñanza de las Ciencias*, **13** (1995) 31.
25. J. Salinas, L. Colombo y M. Pesa, *Enseñanza de las Ciencias* **14** (1996) 209.
26. A. de Pro, *Enseñanza de las Ciencias* **16** (1998) 21.
27. T.D. Cook y Ch.S. Reichardt, *Qualitative and quantitative methods in evaluation research* (Sage Publications, Inc., 1982).
28. M. Cortáiz, *Narrative analysis* (London: Palmer Press, 1993).
29. W.F. McComas, *The nature of science in science education rationales and strategies* (Kluwer Academia Publisher. London, 2000).
30. R.H. Millar, *What is scientific method?*, in R. Levinson, *Teaching Science* (London: Routledge, 1994) p. 41.
31. L.C. McDermott, M.L. Rosenquist y E.H. van Zee, *Am. J. of Phys.* **55** (1987) 503.
32. F.M. Goldberg and J.M. Anderson, *The Physics Teacher*, **27** (1989) 254.
33. F. Reif y S. Allen, *Cognition and Instruction* **9** (1992) 1.
34. M. Finegold y P. Gorsky, *Intern. J. of Sci. Education* **31** (1991) 97.
35. L. Viennot, *Eur. J. of Sci. Education* **1** (1979) 205.
36. T.R. Sandin, *Am. J. of Phys.* **53** (1985) 299.
37. L.P. Rivard, *J. Res. Sci. Teach.* **31** (1994) 969.
38. L. Viennot, *Raisonnement en physique* (Paris: De Boeck, 1996).
39. D. Gil, *Rev. Ens. de las Ciencias* **11** (1993) 197.
40. J.M. de Posada, *Rev. Elect. Ens. de las Ciencias* **1** (2002) 2.
41. P.S. Shaffer y L.C. McDermott, *Am. J. of Phys.* **60** (1992) 1003.
42. B. Thacker, K. Eunsook, T. Kelvin y M.L. Suzanne, *Am. J. of Phys.* **62** (1994) 627.