

CONCEPTOS-EN-ACCIÓN Y TEOREMAS-EN-ACCIÓN EN UN TRABAJO DE LABORATORIO DE FÍSICA[§]

(Concepts-in-action and theorems-in-action in physics laboratory work)

Ma. Maite Andrés

Dpto. de Matemática y Física. Universidad Pedagógica Experimental Libertador.
Instituto Pedagógico de Caracas. Caracas, Venezuela.
maitea@cantv.net

Marta A. Pesa

Dpto. de Física – Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología.
Universidad Nacional de Tucumán. Tucumán, Argentina.
mpesa@herrera.unt.edu.ar

Resumen

En este trabajo se analiza el desarrollo conceptual de los estudiantes en relación con la actividad experimental en términos de esquemas (conceptos en acción y teoremas en acción) que se activan y construyen durante la resolución de situaciones problemáticas en un curso de laboratorio de física para profesorado. Se considera el trabajo de laboratorio en la enseñanza de la física como una actividad compleja en la cual los contenidos teóricos y experimentales están en permanente relación y dependencia, que se aproxima al quehacer experimental científico; de ella se identifican tareas y subtareas de diversos tipos que demandan una variedad de conceptualizaciones para su ejecución, esos procesos se analizan e interpretan a la luz de la teoría de campos conceptuales, CC, propuesta por Gérard Vergnaud (1998; 1990). En este contexto, se presenta un modelo del proceso cognitivo en el laboratorio (MATLaF) (Andrés y Pesa, 2003) y una metodología de investigación para hacer explícitos los esquemas activados. Las fuentes de información del estudio fueron las producciones individuales y grupales, escritas y orales, generadas durante el desarrollo del primer trabajo de laboratorio del curso. El análisis de contenido de estos textos permitió explicitar invariantes operatorios y esquemas tanto de orden teórico como metodológico referidos al campo conceptual (oscilaciones armónicas) y los procesos de cambio ocurridos durante la acción didáctica. **Palabras claves:** Conceptos-en-acción, teoremas-en-acción, trabajo de laboratorio en física.

Abstract

In this work, the conceptual development of the students in connection with the experimental activity is analyzed in terms of the concepts-in-action and theorems-in-action that arise during the solution of a situation problem in a course of Physics laboratory for teacher careers. We considered a laboratory work in Physics teaching as an complex activity in which the theoretical and experimental subjects are in permanent relationship and dependence, that is near the experimental scientific work, where we identify tasks and subtasks of diverse types that they demand a variety of conceptualizations for their solution, we analyze their from the theory of conceptual fields, CC, proposal by Gérard Vergnaud (1998, 1990) (Moreira, 2002). In this context, we present a model (MATLaF) of the cognitive process during a laboratory work (Andrés and Pesa, 2003) and a methodology of research to explicit activated schemes for the students. The sources of information of the study were the individual and group productions, written and orals, generated during the development of the first laboratory work of the course. The analysis of content of the texts allowed to explicit operational invariants and schemes as theoretical order as methodological referred to the conceptual field of the situation and some transformations evidenced in the students as a result of their own process.

Keyword: Concepts-in-action, theorems-in-action, physics laboratory work.

[§] Trabalho apresentado no II Encontro Iberoamericano sobre Investigação Básica em Educação em Ciências, Burgos, Espanha, setembro de 2004. Aceito para publicação na Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências após novo processo de arbitragem.

Introducción

El trabajo de laboratorio, TL, en los cursos de física es considerado una actividad importante en la enseñanza de la disciplina, por ser ésta una ciencia fáctica. Sin embargo, a pesar de la variedad de objetivos que los docentes manifiestan asignarle (Hodson, 1994; Andrés, 2002), la investigación ha mostrado que los trabajos prácticos que se realizan muestran poca relación con el aprendizaje significativo de conceptos, centrándose, frecuentemente, en el aprendizaje de técnicas y procedimientos sin conexión con un campo conceptual o conjunto de campos conceptuales.

Este trabajo forma parte de un estudio mas amplio dirigido al desarrollo de una concepción de trabajo de laboratorio como una actividad de construcción de esquemas cognitivos, centrado en el aprendizaje de aspectos conceptuales y procedimentales, y orientado a promover la construcción de una visión de ciencia cónsona con la aceptada por la comunidad científica.

Se analiza el desarrollo conceptual de los estudiantes como sujetos en acción en relación con la resolución de problemas experimentales, en términos de los conocimientos en acción (invariantes operatorios y esquemas) que se activan internamente durante el proceso de solución de un problema. Este análisis se plantea en atención a una metodología desarrollada a partir de un modelo de aprendizaje en el laboratorio que se fundamenta en la teoría de campos conceptuales de Vergnaud (1990, 1996, 1998) (Moreira, 2002; Palmero y Moreira, 2002; Andrés y Pesa, 2003).

Un referencial para el aprendizaje en el trabajo de laboratorio: La teoría de Campos Conceptuales

La teoría de campos conceptuales (Vergnaud, 1990) constituye un marco referencial cognitivo para el estudio del desarrollo y aprendizaje de competencias complejas. Su potencialidad radica en la posibilidad de comprender los procesos que subyacen a la cognición, en particular, a la construcción de representaciones internas del sujeto. Sin desmerecer que el desarrollo cognitivo depende de las conceptualizaciones empleadas para abordar situaciones, esta teoría supone que la construcción de significados conceptuales, está determinada por las situaciones que aborda el sujeto y por las acciones que se ejecutan durante su resolución (Vergnaud, 1990). Desde esta perspectiva el campo conceptual es considerado por Vergnaud como un conjunto de situaciones cuyo tratamiento necesita conceptos, procedimientos y representaciones de tipos distintos, en estrecha interconexión (Vergnaud, 1990, 1988)

Los conceptos se consideran constituidos por tres conjuntos: i) las *situaciones* que dan sentido al concepto (referente), ii) los invariantes operatorios (*conceptos y teoremas en acción*) que permiten analizar y actuar ante estas situaciones y dan significado al concepto, y iii) las *representaciones simbólicas* (significante) que permiten representar al concepto y a las propiedades asociadas. Una situación constituye una tarea compleja cuya dificultad depende de la conceptualización requerida para abordarla y no de la cantidad de subtareas; en cada situación se ponen en acción algunos aspectos de los conceptos y de los teoremas relevantes. Los estudiantes van desarrollando sus conceptualizaciones (conocimientos) ante las situaciones que van enfrentando y dominando, proceso éste lento y complejo con avances y retrocesos. En este contexto se torna fundamental para el aprendizaje en el aula, identificar el contenido a aprender en términos de campos conceptuales, CC, (Vergnaud, 1998) y para la enseñanza, establecer un conjunto de situaciones a desarrollar por los estudiantes, clasificadas y jerarquizadas según su efectividad para el aprendizaje significativo (Vergnaud, 1998).

El comportamiento ante una situación dada está dirigido por *esquemas*. Un esquema es la organización invariante de la conducta para una clase de situaciones dada (Vergnaud, 1990, p 136), por ello dentro de cada CC se pueden identificar clases de situaciones. En cada esquema se

encuentran elementos cognitivos (conocimientos en acción) que orientan la actuación. En general, los esquemas contienen varios *ingredientes* (Moreira, 2002):

- *Metas y anticipaciones* que permiten identificar las situaciones;
- *Invariantes operatorios*, son los elementos que orientan al individuo en la selección de la información relevante de la situación, para así inferir la meta y las reglas de acción adecuadas al caso. Para la enseñanza son estos aspectos los que interesa indagar, ya que ellos contienen una parte explícita que se apoya en una conceptualización implícita, que no es ni verdadera ni falsa, tan sólo resulta ser operatoria (Vergnaud, 1990), por ello es pertinente explicitar los IO (conceptos en acción y teoremas en acción);
- *Reglas de acción*, permiten la generación de secuencias de acción específicas para cada situación;
- *Posibilidades de inferencias*. Razonamientos que se efectúan con los tres ingredientes anteriores durante la actividad frente a la situación.

Como se señaló, en el proceso de conceptualización a partir de situaciones, se considera indisoluble la relación entre: *situación* (referente de las propiedades de los conceptos), *invariantes operatorios* (significados y propiedades de los conceptos en acción que fundamentan los esquemas), y *representaciones* lingüísticas y no lingüísticas, de los conceptos y propiedades (significantes) (Vergnaud, 1998).

En el marco de la enseñanza de la física, el trabajo de laboratorio puede ser visto como un espacio en el cual se resuelven problemas los cuales constituyen situaciones complejas, que implican acciones teórico-experimentales; por lo que la teoría de CC parece ser un referencial teórico fructífero para comprender el proceso de aprendizaje en este ámbito.

Hacia la precisión del rol del Trabajo de Laboratorio en la enseñanza de la física

Los docentes manifiestan asignarle al trabajo de laboratorio en la enseñanza una diversidad de funciones, algunas no probadas (Hodson, 1994; Andrés, 2002). Sin embargo, su importancia ha sido ratificada por diversos autores (Hodson, 1994; Gil y otros, 1991; Duit, 1995; Barberá y Valdés, 1996), en virtud de que el TL se considera el espacio que permite integrar lo teórico y lo fenomenológico, y sobre todo promover el desarrollo de una visión de ciencia y de la actividad científica más cercana a lo que se acepta en la actualidad. Diversos estudios han mostrado que los trabajos prácticos que se realizan en las aulas, muestran poca relación con el aprendizaje conceptual; la mayoría se centra en el aprendizaje de técnicas y procedimientos aislados (Tobin y otros, 1994; Andrés, 2002).

Desde la ciencia, es difícil pensar en una actividad experimental desligada del ámbito conceptual, es decir, del mundo de las ideas y los modelos científicos; por ello, el TL puede concebirse como un espacio en el cual los conocimientos teóricos son construidos, contrastados o utilizados para la descripción y comprensión de los fenómenos. Unido a esto, el trabajo de laboratorio en la enseñanza puede ser visto como un *“hacer otra vez el trabajo de la ciencia”*, es decir, como una aproximación al quehacer científico, donde a partir de situaciones problemáticas se recorre un camino indagatorio para la producción de declaraciones de conocimiento y de valor que serán sometidas a la crítica entre pares.

Diversos autores han propuesto los trabajos prácticos como *investigaciones*, en donde la metodología científica se hace explícita e íntimamente ligada a los conocimientos temáticos en el cual se inserta el trabajo práctico (Gil y otros, 1991; Salinas, 1994; Hodson, 1994); el énfasis en estas propuestas está en los procedimientos de indagación desde la perspectiva científica, *aprender*

a *hacer ciencia*. En este sentido, los TL son pertinentes para el desarrollo de una imagen de la ciencia cónsona con posturas epistemológicas actuales (Leach, 1999; Leach y otros, 2001).

Pareciera entonces que el trabajo de laboratorio estaría fundamentalmente dirigido al: 1) aprendizaje de conocimientos metodológicos que son propios de la actividad práctica, como: generar de predicciones, formular de hipótesis, seleccionar métodos y diseñar de secuencias experimentales, recolectar datos, procesar y analizarlos, interpretarlos a la luz del marco teórico de referencia, elaborar síntesis y conclusiones, y derivar nuevas preguntas o acciones para seguir profundizando e investigando; considerando estos conocimientos no sólo como procedimientos de indagación científica, sino también como momentos que implican procesos cognitivos que involucran conceptualizaciones que denominaremos metodológicas; y, 2) aprendizaje de conocimientos relacionados con los anteriores que denominaremos teóricos; dado que cada situación de laboratorio se enmarca en un área temática que demanda su utilización al enfrentarse al problema, con ellas también se puede incidir en el desarrollo de estas conceptualizaciones.

Desde esta perspectiva el trabajo de laboratorio resulta una actividad cognitiva compleja que parte de una situación problemática cuya solución implica resolver un conjunto de tareas y subtareas que demandan la utilización de una variedad de conceptualizaciones: metodológicas y teóricas. Por lo tanto, no basta con la orientación del trabajo desde la ciencia, sino que es necesario identificar las dificultades y el nivel de desarrollo conceptual que tienen los estudiantes en el proceso de asimilación o adaptación de los esquemas durante el trabajo de laboratorio para así facilitar el proceso de aprendizaje, estableciendo explícitamente las metas esperadas como lo plantea Seré (2002).

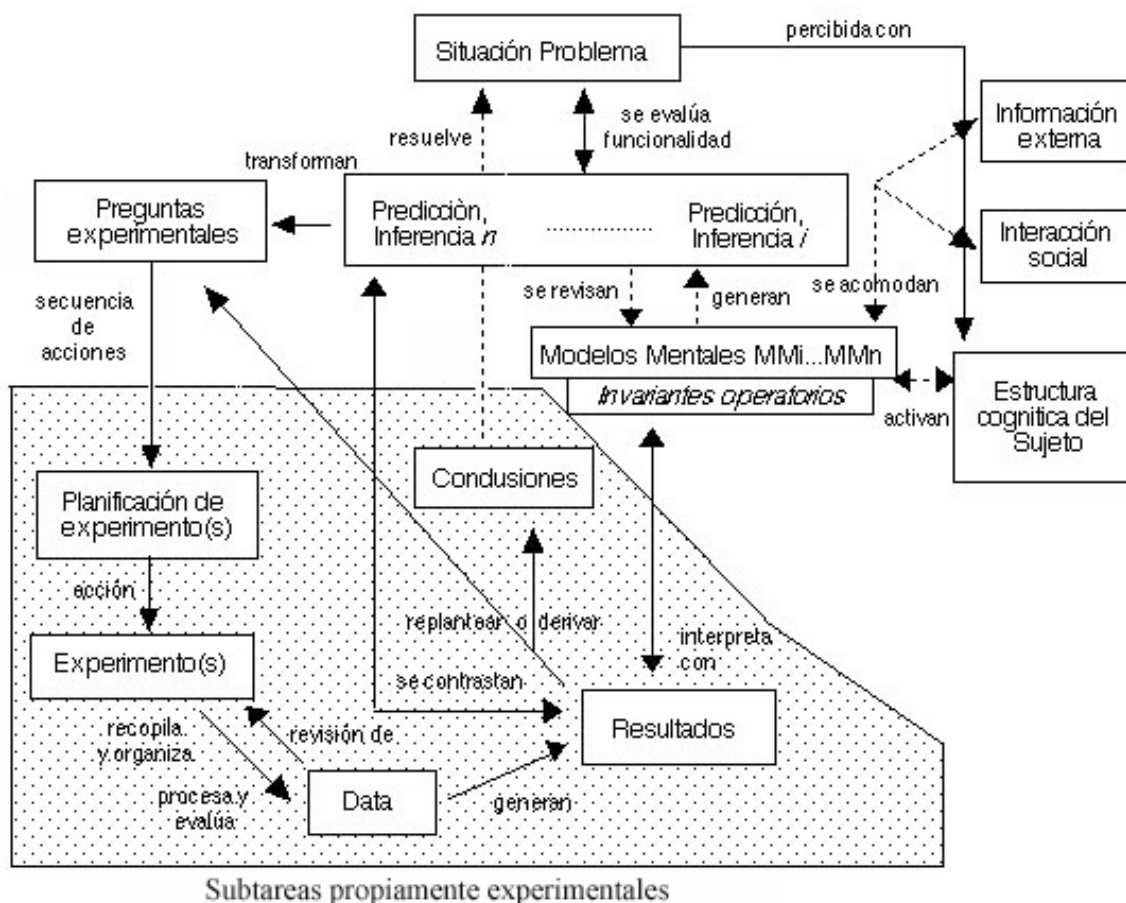
En el marco de la teoría de CC, ante una *nueva situación*, el individuo no logra activar en la estructura de conocimientos un esquema de solución que se adecue directamente, por lo que se requiere de la construcción de uno nuevo a partir de los existentes, como resultado de una fase de reflexión y duda (Vergnaud, 1990). Según Greca y Moreira (2002), en estos casos la situación es abordada con Modelos Mentales, los cuales evolucionan hasta alcanzar su funcionalidad. Estos modelos (implícitos) son transitorios, pero parecen contener elementos del tipo Invariante Operatorio que se mantienen, y que son los que determinan la identificación de la información pertinente y la producción de predicciones e inferencias necesarias para la producción y aplicación de una secuencia de acciones.

En el proceso de elaboración recursiva de los MM, previo al establecimiento de un esquema, pueden intervenir factores externos como: la interacción social con los pares o el docente, la obtención de información desde otras fuentes, experiencias piloto, otras, que enriquecen progresivamente los invariantes operatorios, y así acercarlos al conocimiento científico explícito.

Se supone que si un trabajo de laboratorio expone a los estudiantes a situaciones-problema que les resulten novedosas, en primera instancia se generará la necesidad de construir un esquema marco inicial que incluiría conceptos-en-acción y teoremas-en-acción, del cual se genera un conjunto de acciones a ejecutar, entre ellas pueden surgir subtareas no conocidas ante las que se repetirán procesos cognitivos como el inicial. Las tareas o subtareas a lo largo de trabajo de laboratorio pueden diferenciarse dependiendo del aspecto que predomine, las conceptualizaciones teóricas o las conceptualizaciones metodológicas, ambas asociadas al área temática.

En la figura 1, se representa el proceso cognitivo que se supone ocurre durante un trabajo de laboratorio a partir de una situación no conocida, con ello se ilustra la dinámica descrita en el párrafo anterior. Las subtareas propiamente experimentales pueden resultar novedosas, produciendo procesos cognitivos similares al descrito en el diagrama para la situación-problema inicial.

Figura 1. Modelo de Aprendizaje en los Trabajos de Laboratorio de Física (MATLaF)



Propuesta metodológica

En atención a conocer las dificultades conceptuales de los estudiantes ante situaciones relacionadas con la actividad experimental en física, con miras a facilitar su posterior aprendizaje, el MATLaF lleva a plantear preguntas como: ¿cuáles son los IO que activan los estudiantes ante las diferentes tareas y subtareas demandadas en una situación problema dentro de un trabajo de laboratorio? ¿qué esquemas activan y elaboran durante un TL?. En este sentido se pueden identificar algunos momentos importantes del proceso para la recolección de información con fines investigativos, como son:

i) *Identificar invariantes operatorios (IO) de los estudiantes asociados con la situación inicial.* El TL comienza con la presentación de una situación-problema, partiendo del supuesto de que la misma es novedosa⁴ para los estudiantes, se estima que éstos no encuentran un esquema que funcione para actuar de inmediato (Vergnaud, 1990), en consecuencia, tendrán que construir el esquema para producir la formulación de preguntas relevantes e hipótesis, consensuadas, y un plan de acción. Se propone que cada estudiante se enfrente inicialmente a la situación y exprese por escrito sus ideas acerca del problema, posteriormente, el estudiante las presenta y argumenta en el grupo de trabajo pudiendo incluir información externa; aquí se realizan entrevistas (individuales o colectivas) en distintos momentos, el análisis de los discursos a lo largo de esta fase y las respuestas escritas permitirán inferir los primeros IO y el o los esquemas construidos. Los instrumentos para las recolección de datos propuestos son: situaciones con preguntas presentadas en forma escrita, guiones de preguntas para entrevistas.

⁴ Establecer que las situaciones son novedosas es importante para promover el aprendizaje, para ello se requiere tener conocimiento de la historia de aprendizaje de los estudiantes.

ii) *Identificar IO y esquemas de los estudiantes, asociados con la actividad experimental propiamente dicha.* En la figura 1 se destacan algunas subtareas donde predominan las conceptualizaciones metodológicas asociadas al tema, y derivadas de las preguntas generadas. La conceptualización para afrontar estas subtareas, plantea que cada una sea considerada como un subproblema que puede o no resultar novedoso para el estudiante. El estudio de estos procesos permitiría obtener evidencias respecto de: a) los esquemas de asimilación (conceptos y teoremas-en-acción) utilizados por los estudiantes ante subtareas que consideraron conocidas, y la efectividad de los mismos; b) las subtareas que les resultan ser desconocidas a los estudiantes y el esquema reformulado o construido para abordarlas, y c) las representaciones que producen en relación con los conceptos y la situación.

Los procedimientos que se proponen son: un registro anecdótico escrito de los estudiantes, con todo lo que consideren necesario e importante en cada sesión de trabajo (reflexiones, decisiones, preguntas, predicciones, informaciones teóricas evocadas o extraídas de la búsqueda de información, procedimientos, datos, cálculos, otros). Y la observación de las sesiones de trabajo con registros en una libreta de campo y/o grabaciones de audio o video.

iii) *Evaluar aprendizajes logrados.* Considerando que en esta propuesta, cada TL enfrenta a los estudiantes ante situaciones problema no conocidas, su abordaje y grado de dominio final implicará un cierto nivel de aprendizaje. Parece pertinente obtener evidencias de la evolución en las conceptualizaciones de los estudiantes mediante la contrastación entre el estado inicial y el estado final del desarrollo conceptual relativo al tópico abordado, tanto en lo teórico como en lo metodológico. Algunos procedimientos propuestos para ello son los reportes finales producidos por cada estudiante y sus respuestas a nuevas situaciones de la misma clase.

iv) *Comparar entre expectativas de los estudiantes (y del docente) y logros obtenidos.* En el proceso de aprendizaje se considera importante tomar conciencia de los aprendizajes que se esperan alcanzar, y reflexionar acerca de los logros y posibles discrepancias. En tal sentido, el modelo permite incluir momentos de reflexión individual:

a) Identificar expectativas, una vez formuladas las preguntas experimentales, si bien ha transcurrido una fase de actividad cognitiva en la que se supone se han producido cambios en los conocimientos de los estudiantes, se considera que éstos están en condiciones de dar cuenta tanto del proceso cognitivo ocurrido y sus acciones, como de lo que aprenderá a continuación.

b) Identificar logros, al concluir un trabajo de laboratorio, incluyendo su presentación final, es pertinente la reflexión individual acerca de: los aprendizajes logrados versus expectativas, y los procesos que permitieron o no dichos logros.

Diseño del estudio

Se desarrolló un estudio de casos de tipo interpretativo, con intervenciones mediadoras, dentro del marco del modelo MATLaF y la metodología descrita. Con la finalidad de:

i) Evaluar la viabilidad del modelo MATLaF para estudiar el proceso cognitivo desarrollado durante la solución de una situación-problema de laboratorio en la enseñanza de la física.

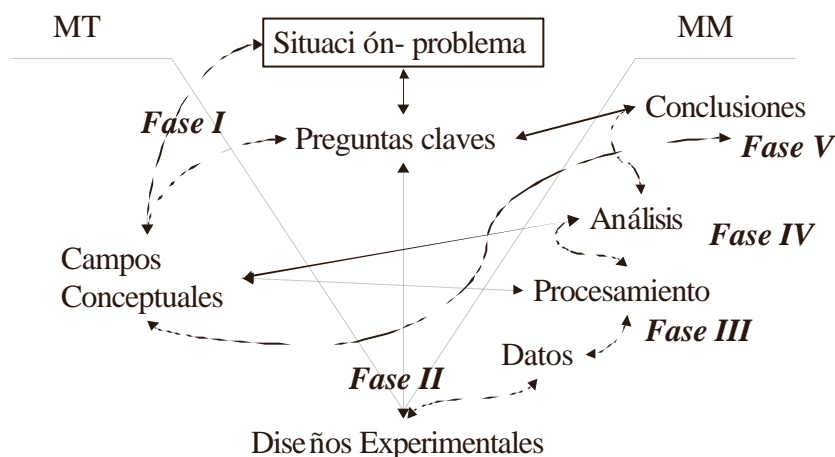
ii) Identificar el nivel de desarrollo conceptual del grupo de estudiantes, en relación con la actividad experimental, a fin de establecer metas de aprendizaje para los siguientes TL del curso.

En el estudio participaron seis⁵ (6) estudiantes de la especialidad de Física (UPEL-IPC), inscritos en Laboratorio III (semestre 2003-I). El docente del curso fue el mismo investigador. Los

⁵ Solo se analizó el trabajo de cinco estudiantes, dado que no se recabó toda la información de uno de los participantes.

estudiantes tenían conocimiento del trabajo de investigación que se estaba realizando y de su rol como participantes. Los estudiantes tenían aprobados dos cursos de laboratorio, realizados dentro de un esquema tradicional, donde el trabajo experimental estaba previamente planificado por el docente, que enfatiza la recolección, el procesamiento y la transformación de datos para el logro de los objetivos del experimento. El trabajo de laboratorio de este estudio se desarrolló en 25 horas de clase (5 semanas); el mismo se orientó con un plan general derivado de la perspectiva epistemológica de la ciencia, que se estructuró en cinco fases interrelacionadas representadas en la figura 2, tomando como base la V epistemológica de Gowin (Novak y Gowin, 1984). La situación problema planteada en este estudio se incluye en el anexo 1 y estaba referida al tema de oscilaciones mecánicas. Esta situación se consideró novedosa, dado que los estudiantes cuando en el curso de teoría donde se abordó el tópic, resolvieron problemas relacionados con sistemas resorte-masa.

Figura 2. Plan general para orientar el desarrollo de un trabajo de Laboratorio. Fases: I. Análisis conceptual del problema; II. Diseño experimental; III. Recolección y Evaluación de datos; IV. Transformación y Análisis de datos; V. Conclusiones y Divulgación



Registros y procedimientos para el análisis de datos

En función de la propuesta metodológica se consideraron fuentes de información a los discursos (oral y escrito) que provienen de producciones individuales y de procesos de interacción social en el aula. Para ello se recolectaron los siguientes registros:

- Registros escritos de las respuestas individuales al problema planteado;
- Protocolo de entrevistas colectivas de discusión en torno a las respuestas anteriores;
- Registro anecdótico durante el proceso de trabajo experimental;
- Reporte final del trabajo de laboratorio elaborado por los estudiantes; y
- Reflexiones personales de los participantes.

Los textos de los diferentes registros fueron analizados con distintos procedimientos, los cuales se describen a continuación.

1) El análisis de contenido de los registros a y b, empleados como dos momentos para la identificación de los IO, se efectuó de la siguiente manera:

- Los textos se fragmentaron en bloques según su significación o intencionalidad. Cada uno se dividió en frases u oraciones.
- Se identificaron los conceptos-en-acción y teoremas-en-acción que se hacían explícitos o se derivaban de las acciones planteadas.
- Se estableció el nivel representacional empleado por los estudiantes, tanto en lo relativo al tema de oscilaciones como a aspectos propios de la situación problemática teórico-experimental planteada.
- Se intentó identificar la intencionalidad subyacente a los conceptos-en-acción y teoremas-en-acción, y las acciones generadas.

2) Las notas de campo recabadas durante fases II a IV según el plan didáctico tenían la intención de registrar cómo fue el proceso cognitivo durante la actividad experimental, qué subtareas resultaban conocidas o no, cuáles eran los IO subyacentes a estas subtareas, y las motivaciones de las acciones que realizaban los estudiantes.

3) El reporte final del trabajo fue sugerido en términos de los elementos del plan general (Fig.2), por ello se efectuó un análisis de contenido enfatizando en la coherencia. Se contrastó con el estado inicial a fin de explicitar las transformaciones que pudieran ocurrir en los esquemas empleados durante el TL.

4) De acuerdo con el referencial de este trabajo, el aprendizaje es una construcción del individuo en interacción social, por lo cual, una forma de tomar conciencia de este aprendizaje es reflexionando acerca del proceso, de los progresos y las dificultades que cada quien ha confrontado. Dado que este tipo de actividad era la primera vez que se les solicitaba a los estudiantes, las reflexiones se orientaron con algunas preguntas y fueron solicitadas por escrito. El análisis de contenido de los textos se efectuó seleccionando las frases relevantes para cada cuestión planteada.

Resultados

Los resultados serán presentados considerando tres momentos del desarrollo del TL: *Situación inicial*, *Proceso experimental* y *Producción final*.

I. Situación inicial. Los textos del registro *a* permitieron dar cuenta de los invariantes operatorios iniciales, y con los del registro *b* se confirmaron y precisaron los IO. El análisis se hizo por cada estudiante. A continuación mostramos algunos de los textos de uno de los estudiantes.

Texto del registro *a* (respuesta individual escrita al planteamiento inicial), estudiante E6:

1. "No es un MAS⁶, según el modelo matemático;"
2. "las oscilaciones de la barra varían."
3. "El Movimiento es oscilatorio amortiguado, hay elementos de dispersión de energía"

En él se identifica el uso de algunos conceptos-en-acción, como: *MAS*, *oscilación* y *oscilación amortiguada* y se puede inferir como posible teorema-en-acción a: *dado que las oscilaciones varían, hay dispersión de energía, si esto ocurre la oscilación es amortiguada*.

En la próxima sesión (entrevista colectiva), siguiendo al estudiante E6, se tiene que en el primer episodio del registro *b*, él expresó lo siguiente:

⁶ MAS, movimiento armónico simple

4. "Mantenemos la posición de la clase pasada."
5. "El movimiento debe ser amortiguado," ya que
6. "el MAS no se cumple en esa observación," ya que
7. "las amplitudes varían con el tiempo."
8. "Para que sea MAS deben cumplirse ciertas características," y
9. "una de ellas es que la Amplitud sea constante todo el tiempo."
10. "Eso no lo observamos para nada," ya que
11. "llega un momento en que la barra está detenida"
12. "y en el MAS no se espera eso".
13. "Debido a esta diferencia entre las oscilaciones observadas y el modelo de MAS",
14. "supusimos que se ajusta mas el Movimiento Armónico Amortiguado, ¿por qué?,"
15. "porque la amplitud en cada instante de tiempo decrece" y
16. "llegará un tiempo en que se detiene"

El estudiante (E6) ratifica sus ideas iniciales, ampliándolas. Al comparar la frase 2 (inicio) con la frase 7, pareciera haber sustituido el CEA inicial de *oscilación* por el de *Amplitud*. El resto del episodio (frases: 4-7, 8-12, 13-16) reitera y amplía el TEA inicial.

En los siguientes episodios este estudiante, hace explícito el modelo matemático que refirió al inicio, con lo cual incorpora nuevos CEA, entre los cuales aparecen algunos referidos a lo metodológico, como se muestra en el siguiente episodio:

Estudiante 6

17. "Creo que se pueden medir amplitud y período o frecuencia, por ser las magnitud mas sensibles en este modelo"
20. "Hemos pensado cómo medir las oscilaciones y las amplitudes, por dos métodos."
21. "Uno es con la lámpara estroboscópica,"
22. "sabremos la frecuencia de la barra al compararla con la frecuencia de la luz,"
23. "al sintonizar las dos (lámpara y barra) puedo tener como una fotografía de la barra en una posición" y
24. "vamos a poder ver cómo la posición máxima de la barra va decreciendo," es decir
25. "un punto A, luego otro punto B menor que A y así sucesivamente, hasta detenerse."

El estudiante (E6) establece las variables a medir (frases 17 y 20), luego describe un método que permite primero obtener una medida: la frecuencia, (frase 22) y como consecuencia de ello medir la amplitud en el tiempo (frases 23, 24-25). Posteriormente, señala que según el modelo expresado en forma simbólica, hay necesidad de controlar la variable masa para estudiar la relación entre la longitud de la barra y la frecuencia de oscilación:

- 35 "Si dejamos la masa fija, se controla, nos vamos a fijar en la longitud y medir la frecuencia de oscilación de la barra"

Por otra parte la estudiante E5 plantea en el registro *b* lo siguiente:

Estudiante 5

- 3 "Este, para llegar a algún tipo de diseño que nos permite llegar a las características de ese movimiento.. ",
- 4 "este, se nos ocurrió así como los gráficos de los libros que hemos usado y en fotografía se que hay unas cámaras que permitir graduar el obturador, no se exactamente en cuanto, puede captar la imagen y se gradúa el tiempo. coloco la cámara fija, y ella toma fotos cada cierto tiempo,"
- 5 "si se ajusta esta obturación a la que necesito."
- 6 "Se toman todas las fotos"
- 7 "y usando un sistema de referencia se puede ver el desplazamiento de la barra en el tiempo en que se toma la foto,"
- 8 "y considerando T, se puede ver si la frecuencia se mantiene constante,"
- 9 "y así podemos ver si es amortiguado o no, es MAS."

En este caso la estudiante E5 propone un diseño diferente al de E6, expresando la meta (frase 3 y 9). Aunque no explicita las variables relevantes, pareciera que su intención es medir posición-tiempo (frase 7) y obtener de manera indirecta el período (frase 8).

En la entrevista colectiva predominó el discurso del estudiante E6, las intervenciones de los otros estudiantes complementaban o ratificaban sus ideas y razonamientos con expresiones, como:

“De las ecuaciones, bueno, son todas las que vimos en la pizarra (refiriéndose a lo escrito por E6) (luego dibuja la gráfica de $x: f(t)$ para un MAA y señala que la envolvente representa el decaimiento de la amplitud, indicado en el factor de: $Ae^{-\beta t}$)” (E2)

Y después que E6 presentó el modelo matemático del MAA, E4 dice:

“pero la fuerza de amortiguación va a variar; ah, y además, depende de la velocidad, ésta va disminuyendo entonces hay que medir velocidad”.

En resumen, del análisis del registro *a*, de los cinco estudiantes, se identifican los CEA siguientes: *MAS, periódico, longitud de la barra, roce, periodo, amplitud, frecuencia, disipación de energía, oscilación armónica, oscilación amortiguada*.

Además, con la información externa buscada por cada estudiante y la discusión de las respuestas iniciales se precisan los CEA e identifican algunos nuevos como: *oscilación (suave ó rápida), fuerza externa, fuerza de restitución, MAA⁷, frecuencia angular, constante de elasticidad, constante de amortiguación, masa (barra, pesa, posición de la barra), sistema de referencia, cambios en el tiempo*.

Los CEA relacionados con lo metodológico que surgieron son: *medición, método de medida, variable a medir, medida directa, medida indirecta, variable a controlar*.

En cuanto a los Teoremas-en-acción, TEA, deducidos mediante estos dos registros. Se tiene que de las respuestas iniciales de todos los casos se identifican como TEA a:

1. Si el movimiento oscilatorio se detiene, no es periódico, no es MAS.
2. En un MAS no hay roce.
3. Si la amplitud y la frecuencia no son constantes (disminuyen), el movimiento no es MAS.
4. La amplitud y la frecuencia varían debido al roce.
5. El roce implica una disipación de energía por lo tanto, el movimiento es MAA.
6. Si las oscilaciones varían, se disipa energía y la oscilación es amortiguada.

En los TEA (3 y 4) se observa que las relaciones incluyen variables: amplitud y frecuencia. En todos parece haberse presentado un conflicto entre el esquema asociado a la situación masa-resorte sin roce (MAS) y la situación-problema presentada. Pero sólo un estudiante llegó a plantear un esquema alternativo, el amortiguado (E6, frases 13 a 16).

El análisis de contenido de la entrevista colectiva (registro b) permitió explicitar mejor los TEA, los cuales se han considerado como producto del grupo:

“ El MAS se caracteriza por que la amplitud de la oscilación es constante, por lo tanto, el movimiento no se detiene, no hay disipación de energía.

En contraposición, una oscilación amortiguada esta determinada por una fuerza de roce que determina la disminución de la amplitud con el tiempo, y una fuerza de restitución que determina la oscilación, lo cual es representado con un modelo matemático y una representación gráfica.

“ Un movimiento amortiguado se representa por:

⁷ MAA, movimiento armónico amortiguado

$$y(t) = Ae^{-g} \cos(\omega t + j) \quad (\text{ec. 1}) \quad \text{ó} \quad m \frac{dy^2}{dt} = -kx - B \frac{dy}{dt} \quad (\text{ec. 2})$$

donde, g es el coeficiente de amortiguación que esta asociado con B y es el que determina la disipación de la energía.

“ El grafico posición-tiempo derivado de la ecuación 1, muestra cómo decae la amplitud, la curva envolvente de las amplitudes corresponde al factor de amortiguación Ae^{-g} ”

“ La fuerza de roce se relaciona directamente con la velocidad de la masa: a mayor velocidad, mayor fuerza de roce.

“ Si hay mayor longitud de la barra, la oscilación es más suave (menor velocidad) Esto se deriva de la observación

Dos estudiantes relacionan estos dos últimos teoremas y plantean:

“ Mayor longitud implica menor velocidad, por lo tanto, menor roce. Entonces, si aumentamos la longitud de la barra el movimiento se acercará a un MAS.

“ La frecuencia angular asociada al sistema es: $\omega = (k/m)^{1/2}$ (ec. 3).

lo cual corresponde al modelo MAS de un sistema masa-resorte sin roce.

“ La longitud de la barra influye en la frecuencia (derivado de la observación)

Se observa que los estudiantes buscaron en la literatura modelos teóricos que enriquecieron el esquema inicial activado para explicar la observación, con lo cual los CEA y TEA después de la interacción en el grupo aparecen más elaborados, en el sentido de que presentan mayor complejidad conceptual y con representaciones simbólicas y gráficas.

Sólo un estudiante (E6) explicitó el contraste entre algunas observaciones de la situación y el modelo físico (simbólico) tentativo seleccionado, avalándolo

26. “El otro método es agarrar una plumita en el extremo de la barra y un papel que vamos moviendo a v cte, para ver la posición de la barra en el tiempo.”....
27. “La ecuación que encontramos es la que ya conocemos del móv. A. amortiguado. $x(t) = Ae^{-\gamma t} (\cos(\omega t + \phi))$
28. “Determino γ , con las amplitudes y la lámpara estroboscópica (con esto dijo antes que mediría tiempos).”
29. “Es decir, este factor (señala γ en el exponente) es el que va a hacer que esto (señala la A) se reduzca,”
30. “por que para un instante t tiene un valor, pero después de un tiempo es menor.” (Observación del sistema)

El grupo de estudiantes en general mostró el uso de un esquema de asimilación, conformado con invariantes derivados: i) de dos esquemas de asimilación diferentes, el asociado con el MAS y el del MAA; y ii) de esquemas construidos con la observación, como la dependencia entre la longitud de la barra y la frecuencia de oscilación, conscientes de que las representaciones matemáticas explicitadas no brindaban una justificación a la misma. También, se pudo observar un teorema-en-acción común a todos, relativo a la actividad experimental, que evidencia un nivel de desarrollo conceptual bastante limitado desde la perspectiva de la ciencia.

TEA: “Un diseño experimental implica establecer las variables a medir y los métodos a seguir en función de los instrumentos disponibles”

II. Proceso experimental

Al inicio, los estudiantes no lograban ejecutar ninguna actividad experimental debido al TEA subyacente a su plan de diseño; esta subtarea se convirtió en un subproblema. Se sugirió que consideraran las preguntas propuestas, y que a partir de ellas establecieron un plan de acción. Ellos centraron la ejecución en dos *experimentos*, el primero con miras a estudiar la relación entre la frecuencia y la longitud de la barra, y el segundo para estudiar las relaciones posición-tiempo y amplitud-tiempo.

IIa. En el primer experimento, la tarea de estudiar una relación entre variables, se inició con acciones de ensayo y error. Luego, midieron tiempos para N oscilaciones (f), probaron con diferentes valores de N o con diferente amplitud inicial; con lo cual concluyeron que la frecuencia no cambiaba, entonces, fijaron un valor de N y de amplitud inicial, y midieron tiempos para N oscilaciones (f), para distintos valores de L. Cabe destacar que en su discusión sobre el posible modelo, habían considerado que la frecuencia dependía de la constante k y la masa m de la pesa;

fue necesario introducir como ajuste el modelo $w_0 = \left(\frac{bd^3Y}{4ML^3} \right)^{1/2}$ (ec. 4). Como consecuencia, midieron: masa de la pesa, masa de la barra, dimensiones de la barra y buscaron el valor de coeficiente Young para el supuesto material de la barra, los cuales mantuvieron fijos. Todas estas acciones surgieron sin explicitar un diseño previo, que discriminase las variables independiente, dependiente e intervinientes. Pareciera ratificarse en esta subtarea la activación de un esquema que tiene implícito un TEA semejante al detectado en la situación inicial:

“Al estudiar una relación entre dos variables es necesario cambiar una variable, medir otra y mantener constantes otras”

Durante la tarea de *medir*, consideraban que una sola medición no era suficiente, sin embargo, no presentaron un criterio explícito para decidir cuántas veces hacer las medidas, tampoco surgió el concepto de error de medición, por lo que, se sugirió pensar en la precisión de la medida y observar la variabilidad de los valores para decidir al respecto.

En relación con el *procesamiento de datos*, se observaron bien organizados en tablas, identificando las variables y las unidades. No se expresó el error en ninguna medida (directa o indirecta); cabe destacar que estos estudiantes habían cursado dos laboratorios en los cuales estudiaron este tópico. Construyeron el gráfico de frecuencia angular – longitud, sin embargo, la tarea de *análisis* se limitó a una lectura descriptiva del gráfico, sin referencia al modelo teórico (ec. 4) presentado como alternativa más próxima para explicar el fenómeno, no realizaron transformaciones de los datos.

Todo este proceso pone en evidencia la activación de esquemas bastante primitivos desde la perspectiva del conocimiento científico, para las tareas propiamente experimentales, como: diseño, medición, transformación e interpretación de datos, y conclusiones. Además, pareciera que estas subtarear no fueron percibidas como tal, pues no se planificaban.

IIb. En el segundo *experimento* -relaciones posición-tiempo y amplitud-tiempo- hubo necesidad de intervenir tanto con la introducción de procedimientos de medición en tiempo real⁸ como con el procesamiento y transformación de los datos recogidos en forma automatizada, mediante el empleo del programa Microsoft Excel, por ser el que los estudiantes manifestaron conocer. Una vez recogidos los datos de posición-tiempo para diferentes longitudes de la barra, los estudiantes los procesaron y analizaron sin intervención del docente. El trabajo realizado mostró

⁸ Se utilizó un detector de movimiento para registrar la posición de la pesa en el extremo de la barra cuando oscilaba, conectado a un computador con un interfase (Logger ProTM, Vernier LabPro; Vernier Software&Technology).

que repitieron las acciones del experimento anterior: tablas bien organizadas, gráficos $y:f(t)$ y una lectura descriptiva de éstos; lo cual ratifica el uso de los mismos esquemas activados en el experimento anterior.

Fue necesario intervenir ilustrando, en atención a las intenciones del experimento, algunas funciones del programa de cálculo útiles para el procesamiento y transformación de los datos, como: transformar datos con funciones matemáticas; cálculo de: parámetros relevantes a partir de la data, medias, desviaciones, correlaciones, otros, empleando las funciones matemáticas; graficación; análisis de los gráficos modelando o con ajuste de tendencias. Se hizo énfasis en: los conceptos físicos de modelo y ecuación empírica, el contraste entre modelo y data, el ajuste de tendencia de los datos. Los estudiantes trabajaron con la data obtenida para cada longitud de la barra; sus progresos y dificultades se discutían en colectivo en el aula. En este proceso, medianamente dirigido, se estableció una secuencia de acciones: construcción de gráficas: posición-tiempo y amplitud-tiempo; verificación de la constancia de la frecuencia para cada caso, análisis de tendencia de la grafica $A:f(t)$, cálculos de parámetros: frecuencia angular, constante de fase; determinación del coeficiente de amortiguación, contrastación de la curva de $y:f(t)$ según el modelo (ec.1) con la curva $y:f(t)$ experimental.

El grupo fue invitado a procesar y analizar la data tomada en este segundo experimento para dar respuesta a la pregunta del primer experimento, y así poder contrastar los resultados obtenidos de los dos procedimientos experimentales. Este trabajo se haría de manera independiente.

III. Producción final.

Los reportes de los estudiantes, tras ser analizados en su contenido según los elementos del plan general (fig.2), se clasificaron en dos categorías: *estándar* y *evolucionado*, no totalmente excluyentes. En el cuadro 1 se presenta una síntesis de las diferencias y semejanzas entre ellos. Tres estudiantes evidenciaron autonomía y evolución en las conceptualizaciones con el trabajo realizado, dos en mayor grado; se puede observar que el trabajo de procesamiento y análisis resultó mas elaborado, incluso para el último análisis propuesto para que lo realizaran solos. Mientras que el progreso del resto fue sólo en lo procedimental, estas diferencias son confirmadas por ellos en las reflexiones. En ningún caso se observa variaciones en el TEA inicial relativo a la tarea de diseño experimental (ver Descripción de eventos, Cuadro 1).

Cuadro 1. Síntesis de los reportes finales de los 5 estudiantes, por categorías: estándar y evolucionado.

Reporte estándar (N:2)	Reporte evolucionado (N:3)
<i>Análisis Conceptual</i>	
<p>El análisis conceptual no está relacionado con la meta del problema, aunque se refiere a su contenido. Su función parece ser: <i>buscar definiciones y relaciones conceptuales en la física referidos a conceptos-en-acción activados por la situación, sin llegar a establecer la construcción de un modelo para abordar la situación.</i></p> <p>Pareciera que ello tiene implícito el siguiente TEA: <i>Los conceptos-en-acción explicitados con la situación refieren a una teoría física que se debe describir.</i></p>	<p>El análisis conceptual está función del logro de la meta del problema, pareciera que esta dirigido a: <i>buscar una solución que se adecue a la situación, comparando en forma descriptiva elementos del modelo con aspectos del evento.</i></p> <p>Los estudiantes mantienen el TEA inicial: <i>Es necesario un modelo para abordar la situación y orientar el trabajo experimental.</i></p>
Descripción de los eventos	
<p>Centrado en la descripción verbal de las acciones de medición.</p> <p>Sin precisiones experimentales como: diseño experimental, variables y discriminación entre ellas, caracterización de instrumentos, consideraciones de errores. Diagramas o dibujos de los montajes.</p>	

Procesamiento y transformación de los datos

<p>Los datos son presentados en tablas, debidamente identificadas, sin ajuste en las cifras significativas. La medidas directas que realizan varias veces, se acompañan de la media y la desviación estándar.</p> <p>Las medidas indirectas obtenidas de cálculos o gráficos se presentan sin errores.</p> <p>Las transformaciones que se presentan fueron las acordadas en el trabajo de grupo para el estudio de las relaciones $y:f(t)$ y $A:f(t)$</p>	<p>Los datos son presentados en tablas, identificadas, con el ajuste de cifras significativas en función de los errores experimentales, tanto en el caso de datos de medidas directas como de medidas indirectas.</p> <p>Se presentan las transformaciones acordadas en el trabajo de grupo para las relaciones $y:f(t)$ y $A:f(t)$.</p> <p>Se incorporan transformaciones que no fueron explicitadas en clase, para el análisis de la relación $w-L$.</p>
---	---

Análisis de datos

<p>A pesar de que se hacen las transformaciones necesarias para el análisis de las relaciones $y:f(t)$ y $A:f(t)$, no se analiza.</p>	<p>El informe de un estudiante que presenta gran nivel de detalle permite inferir la secuencia de acciones que guió la tarea de análisis de datos:</p> <p>(E6) "Evaluación descriptiva de la data, ajuste de tendencias por ensayo y error, tomando como criterio de comparación el RQS, y acompañando con transformaciones de variables para linealizar o con ajuste de tendencia derivadas de un modelo. Toma de decisión final considerando modelo y data"</p>
---	---

Conclusiones

<p>Las conclusiones son expresadas como descripciones verbales generales derivadas de las gráficas. Sin alusión a los modelos.</p>	<p>Dos estudiantes presentan conclusiones organizadas por preguntas y elaboradas de la interrelación entre resultados y modelo. Expresadas en forma verbal y simbólica, haciendo referencia a los errores. El otro estudiante presentó conclusiones del tipo estándar</p>
--	---

De las reflexiones de los estudiantes cabe destacar que a su juicio, la diferencia más relevante entre éste trabajo de laboratorio y sus experiencias anteriores, radica en el rol protagónico que tuvieron en el proceso; percibieron que eran ellos los que discutían, sintetizaban, diseñaban las acciones a realizar, consideraron que tenían metas (preguntas claves) establecidas por ellos. Además, describieron el rol del docente como orientador (Cuadro 2).

Cuadro 2. Diferencias entre el TL realizado y sus experiencias anteriores según los estudiantes.

<p>En este curso....</p> <p>(1) Son los estudiantes los que establecen condiciones y acciones de trabajo en base a la discusión y búsqueda de información.</p> <p>(1) El montaje y las preguntas experimentales son producidas por los estudiantes con la orientación del docente</p> <p>(1) Permite que el estudiante aporte algo más de lo que el profesor espera.</p> <p>(1) El uso de las preguntas claves como norte del trabajo.</p> <p>(1) Se orienta a los estudiantes para que establezcan el camino a seguir, en función de las preguntas.</p> <p>(1) El trabajo realizado produce satisfacción porque lo siente propio y con sentido.</p> <p>(1) Se realiza una discusión entre pares acerca del modelo teórico que podía responder al problema</p>
--

En relación con el uso de la V (Fig.2) la opinión fue favorable, según ellos les permitió dar coherencia a la información para su presentación, integrar aspectos teóricos y metodológicos en función del problema, tomar conciencia de las etapas realizadas, entre otras.

Conclusiones

En relación con el abordaje de la situación y la producción de un plan de acción general, en el estudio realizado, los estudiantes no tenían un esquema prestado para resolver el problema, por lo cual se concluye que la situación propuesta resultó ser novedosa. Se identificó un conjunto de invariantes operatorios iniciales; hay que destacar que éstos no son los conceptos científicos, sino los conceptos-en-acción y teoremas-en-acción que activan los estudiantes para enfrentar una situación dada, que pueden tener algunos aspectos que se corresponden con los conceptos

científicos aprendidos durante la escolarización, pero que también contienen otros elementos, por lo general, implícitos y en algunos casos contrapuestos a lo que la ciencia acepta.

Después de la búsqueda de información (libros, notas de clase de cursos anteriores, páginas web, otros), y el intercambio de significados en la discusión, se precisaron los IO iniciales, conformándose un esquema para abordar la situación, el cual contiene: conceptos-en-acción, teoremas-en-acción y reglas, acompañado de una combinación de representaciones en lenguaje verbal de carácter descriptivo y lenguaje simbólico, de carácter cuantitativo y gráfico. El esquema final parece contener elementos de esquemas que corresponden a situaciones conocidas pertenecientes a dos clases: oscilador armónico y oscilador amortiguado.

En relación con la conceptualización metodológica para abordar estas subtareas, los esquemas activados resultaron bastante intuitivos, poco desarrollados desde la perspectiva de la ciencia y con poca relación con las conceptualizaciones teóricas; se identificaron tres TEA subyacentes a ellos:

- *“Una sola medida no es suficiente, es necesario efectuar varias medidas”*. Se observó, que no tenían criterios para establecer cuántas medidas pueden ser suficientes, pareciera que esto es una regla aprendida sin significado.
- *“Las medidas directas tienen un error experimental que depende de la apreciación del instrumento de medida”*. Igual que la anterior, parece una regla aprendida sin significado.
- *“Estudiar una relación experimentalmente significa describir como cambia una variable al variar otra”*, ello llevó a las siguientes acciones: medir una variable Y al cambiar otra variable X y mantener fijas otras; organizar los datos en tablas identificando las variables (símbolo e unidad), graficar $Y:f(X)$ y hacer una lectura descriptiva del gráfico, sin establecer relación con posibles modelos, ni construir un modelo para representarlo.

Este nivel de desarrollo conceptual es comprensible, dado que como ellos mismos señalaban en las reflexiones, en cursos anteriores su trabajo, básicamente fue ejecutar acciones establecidas por el docente, por ejemplo E4 dice *“... normalmente es impuesto el montaje por el prof. y se estudia el fenómeno en forma de responder las preguntas planteadas por el prof”*; y E6 dice *“los prácticas de hacían de forma dirigida, sin ningún tipo de planificación por parte de los Estudiantes, lo que hacia del laboratorio una acción de repetición de experiencias”*. Desde la teoría de campos conceptuales, vemos como centrarse en la ejecución de acciones en forma aislada, sin derivarlas de esquemas construidos para abordar situaciones, no facilita la relación entre lo conceptual y lo metodológico, los modelos y los resultados. Las fases del TL mostradas en la fig. 2 fueron desarrolladas por los estudiantes, sin las conexiones propias entre ellas.

El modelo MATLaF establecido para comprender el proceso cognitivo desarrollado durante la solución de una situación-problema de laboratorio en la enseñanza de la física, y empleado como guía del estudio realizado, se considera adecuado, ya que permitió dar cuenta de los esquemas que conformaron los estudiantes para abordar la situación en sus diferentes etapas, discriminando entre los aspectos relacionados con lo teórico y lo relacionado con lo metodológico, así como la conexión que establecían entre ellos. La comparación entre los esquemas iniciales a la tarea central y a las subtareas, con lo expresado en los reportes finales, permite dar cuenta del aprendizaje de los estudiantes.

Por último, la identificación de los IO y esquemas empleados por los estudiantes en un trabajo de laboratorio, permite establecer el nivel de desarrollo conceptual de los estudiantes en relación con este tipo de trabajo. Por ello, en el marco de un curso de laboratorio, el análisis del proceso

durante el primer TL desarrollado según el MATLaF, es útil para identificar los aspectos a atender de manera intencional en los subsiguientes trabajos de laboratorio del curso.

Referencias

ANDRÉS, Ma. M. 2002 *La formación del docente de física: realidad y perspectivas*. Trabajo de ascenso a la categoría de Profesor Titular, Univ. Pedagógica Experimental Libertador-IPC Caracas Venezuela

ANDRÉS, Ma. M. y PESA, M. 2003 *Teoría de Campos Conceptuales de Vergnaud y el Trabajo de Laboratorio en cursos de física*. Presentado en la REF XIII de la Asociación de Profesores de Física de la Argentina, 5 al 8 Nov. 2003, Universidad Nacional de Río Cuarto, Córdoba, Argentina

BARBERÁ, O. y VALDÉS, P. 1996 El trabajo práctico en al enseñanza de las ciencias: una revisión. *Revista de Enseñanza de las Ciencias* 14 (3) pp. 365-379

DUIT, R. 1995 The Constructivist Views. A Fashionable and Fruitful Paradigm for Science Education. Research and Practice. En Steffe, Leslie y Gale *Constructivism in Education* (Lawrence Erlbaum Associates. Inc N.J.) pp. 271-286

GIL, D., CARRASCOSA, J., FURIÓ, C. y MTNEZ-TORREGOSA, J. 1991 *La Enseñanza de las Ciencias en la Educación Secundaria. Cuadernos de Educación* 5, (Horsorí, España) Cap.III.

GRECA, I. M. y MOREIRA, M. A. 2002 Além da detecção de modelos mentais dos estudantes, uma proposta representacional integradora. *Investigações em Ensino de Ciências* Vol 7(1) Art. 2 (http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/vol7/n1/v7_n1_a2.html)

HODSON, D. 1994 Hacia un enfoque más crítico del trabajo de laboratorio. *Revista de Enseñanza de las Ciencias* 12 (3) pp. 299-313

LEACH, J 1999 Learning science in the laboratory The importance of epistemological understanding. En Leach, J. y Paulsen, A. (edts) *Practical Work in Science Education*. (Kluwe Academic Pubs) p. 134 -147

LEACH, J.; MILLAR, R.; RYDER, J.; SÉRE, Ma-G.; HAMMELEV, D.; NIEDDERER, H. y TSELFES, V. 2001 Survey 2: students' images of science as they relate to labwork learning Labwork in science education Working Paper 4 (<http://www.cordis.lu/tser/src/ct2001w.htm>)

MOREIRA, M. A. 2002 La teoría de lo campos conceptuales de Vergnaud, la enseñanza de las ciencias y la investigación en el área. *Investigações em Ensino de Ciências* Vol 7(1) Art. 1 (http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/vol7/n1/v7_n1_a1.html) Traducción de Isabel Iglesias.

PALMERO, MA. LUZ y MOREIRA, M. A. 2002 La teoría de los campos conceptuales de Gérard Vergnaud. Texto de apoyo No. 15. Programa de Doctorado en Educación en Ciencias. Universidad de Burgos.

NOVAK, J. y GOWIN, D.B. 1984 *Learning how to learn*. (Cambridge University Press)

SALINAS, J. 1994 *Las prácticas de Física Básica en laboratorios universitarios*. Tesis doctoral. Universidad de Valencia España.

SÉRE, Ma-G. 2002 Towards Renewed Research Questions from the Outcomes of the European Project Labwork in Science Education. *Science Education* pp 625 -644

TOBIN, KENNETH; TIPPINS, DEBORAH y GALLARD, A. J. 1994 Research on Instructional Strategies for Teaching Science. En Gabel, D. (ed) *Handbook of Research on Science Teaching and Learning*. (NSTA. N.Y.)

VERGNAUD, G. 1988 Multiplicative Structures. En J. Hiebert, J. and Behr, M. (Ed.) *Research Agenda in Mathematics education: Number concepts and operations in the Middle Grades*. p. 141-161 Hillsdale, N.J. Lawrence Erlbaum

VERGNAUD, G. 1990 La théorie des champs conceptuels. *Recherches en Didactique des Mathématiques* Vol 10 (2) pp 133-170 Traducido por Godino, Juan.

VERGNAUD, G. 1996 Education the best portion of Piaget's heritage. *Swiss Journal of Physics*, 55(2/3), pp 112-118.

VERGNAUD, G. 1998 Comprehensive Theory of Representation for Mathematics Education *Journal of Mathematical Behavior*, 17 (2) pp. 167-181 ISSN 0364-0213

Anexo 1

Situación problema planteada en el Trabajo de Laboratorio.

Se tiene una barra metálica flexible cargada con masas en un extremo y fija en el otro extremo. Si se desplaza el extremo libre de su posición de equilibrio y se suelta, el sistema oscilará. (observación del evento en el laboratorio)

a) Las vibraciones de la barra flexible cargada ¿podrán considerarse armónicos?

En caso afirmativo: Describa y argumente un modelo.

b) ¿De qué factores dependerá la frecuencia de oscilación de la barra?

