

EFFECTIVIDAD DE UN LABORATORIO GUIADO POR EL MODELO DE APRENDIZAJE MATLAF PARA EL DESARROLLO CONCEPTUAL ASOCIADO A TAREAS EXPERIMENTALES

ANDRÉS, MARIA MAITE¹; PESA, MARTA A.² y MENESES, JESÚS³

¹ Departamento de Matemática y Física. Universidad Pedagógica Experimental Libertador-Pedagógico de Caracas. Venezuela

² Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología. Universidad Nacional de Tucumán. Argentina

³ Departamento de Didácticas de las Ciencias Experimentales. Facultad de Educación. Universidad de Burgos. España

maitea@cantv.net

mpesa@herrera.unt.edu.ar

meneses@ubu.es

Resumen. En un trabajo de laboratorio que se guió según el modelo de aprendizaje MATLaF, basado en la teoría de campos conceptuales, se evaluó el desarrollo conceptual de los estudiantes en el campo de la actividad experimental. El ensayo se llevó a cabo con estudiantes del profesorado de física en un curso de laboratorio de la universidad (Venezuela). Los resultados evidenciaron un cambio favorable en los significados de los conceptos (invariantes operatorios) relacionados con las tareas propias del quehacer experimental, tanto por su aproximación a los significados científicos como por su cantidad y relaciones.

Palabras clave. Trabajo de laboratorio, desarrollo conceptual, campo conceptual experimental.

The Effectiveness of a Laboratory When Guided by the MATLaF Learning Model for the Conceptual Development of Experimental Tasks

Summary. In laboratory work that was carried out according to the dynamic model of learning MATLaF, which is based on Vergnaud's conceptual fields theory, conceptual development in a field experiment was evaluated. The study was carried out with physics student teachers in a university laboratory course (Venezuela). The results showed a satisfactory change in the operative invariants related to tasks that are typical of experimental scientific work, both for their approach to the scientific ideas as well as their quantity and relationships.

Keywords. Laboratory work, conceptual development, conceptual field experimental.

INTRODUCCIÓN

El trabajo de laboratorio (TL) constituye un espacio óptimo para el aprendizaje interrelacionado de los dominios metodológico y de significados, así como para el desarrollo de una visión acerca de actividad experimental de acuerdo con posiciones epistemológicas actuales. El modelo para comprender el proceso de aprendizaje en el laboratorio (MATLaF) (Andrés, 2005) diseñado en el marco de la Teoría de Campos Conceptuales (Vergnaud,

1990) permite guiar la acción didáctica en el TL (Andrés y Pesa, 2004). Este modelo fue ensayado en un curso de laboratorio para el profesorado de física en el Pedagógico de Caracas (Universidad Pedagógica Experimental Libertador, UPEL, Venezuela). En este artículo exponemos los resultados en cuanto a la evolución conceptual, en el dominio metodológico, de los estudiantes frente a una situación de laboratorio sobre ondas mecánicas.

REFERENCIAL TEÓRICO

Los trabajos de laboratorio en la práctica educativa, tradicionalmente, tienen un fuerte énfasis en el aprendizaje de destrezas y técnicas de recolección y procesamiento de datos experimentales, con muy poca relación explícita con referentes teóricos, y ambigüedad en cuanto a los objetivos de aprendizaje que se esperan lograr con ellos.

Desde la ciencia es difícil pensar en una actividad experimental desligada de las ideas o de componentes teóricos representativos del mundo físico. Esta interrelación teoría-experimento puede ser vista desde diferentes posiciones epistemológicas (Séré, 2002; Andrés et al., 2006; Martins, 2004), las cuales se reflejarán en la práctica educativa.

Diversos autores (Hodson, 1984; Gil et al., 1991; Duit, 1995; Barberá y Valdés, 1996; Séré, 2002) consideran que el TL en la enseñanza de las ciencias es importante para: integrar lo teórico y lo fenomenológico; establecer una conexión dialéctica entre datos y teoría; y sobre todo, promover el desarrollo de una visión en relación con la ciencia más cercana al quehacer científico.

En tal sentido, autores como Gil y otros (1991), Hodson (1994), y otros han propuesto los trabajos prácticos como investigaciones, en donde la metodología científica se hace explícita y ligada, de manera indisoluble, a los marcos conceptuales con los cuales se aborda el trabajo práctico. Su énfasis está en el aprendizaje de los procesos científicos, principalmente en los aspectos epistemológicos; y no tanto, a nuestro criterio, en los factores inherentes a los procesos de aprendizaje, ni en los obstáculos de orden cognitivo que confrontan los estudiantes frente a estas actividades indagatorias.

Concordamos en que en el laboratorio predomina el aprendizaje del dominio metodológico en interrelación indisoluble con algún marco teórico de referencia asociado a la situación planteada. Y que en ese dominio, se identifican procesos típicos del quehacer de la ciencia, como: generar predicciones a la luz de marcos teóricos de referencia, formular hipótesis, seleccionar métodos de control de las hipótesis formuladas, diseñar secuencias experimentales, recolectar, procesar, analizar e interpretar datos, elaborar síntesis y conclusiones, y derivar nuevas preguntas o acciones para seguir profundizando e investigando.

Sin embargo, consideramos que estos procesos del dominio metodológico constituyen tareas cognitivamente complejas, que demandan conceptos y reglas de acción (Vergnaud, 1990) propios de este dominio que se combinan con conceptos y reglas de acción del referencial teórico que se considere, tomando significaciones particulares en cada situación. Estos conocimientos deben ser aprendidos, y por ello, deben estar declarados como metas de aprendizaje durante los TL; deben ir unidos a conocimientos de otros campos conceptuales demandados por procedimientos experimentales más generales, como, por ejemplo, los principios de funcionamiento de los instrumentos de medición, la teoría de errores de

medición como herramienta fundamental para la planificación de los experimentos y la evaluación de los errores, entre otros.

Por nuestra parte, para abordar situaciones problemáticas hemos propuesto un modelo dinámico de aprendizaje en los Trabajos de Laboratorio en Física (MATLaF) (Andrés, 2005), elaborado basándose en la Teoría de Campos Conceptuales (TCC) de Vergnaud (1990) (Figura 1). Esta teoría plantea que el sujeto en acción actúa activando *esquemas* para clases de situaciones, por lo que el desarrollo cognitivo es moldeado por las conceptualizaciones subyacentes a las acciones de los sujetos en situaciones concretas. Se entiende por *esquema* una estructura cognitiva que permite al sujeto actuar ante situaciones problemáticas similares, y comporta:

- *Invariantes operatorios (IO)*, constituidos por *conceptos-en-acción* relevantes para la identificación y selección de la información, y *teoremas-en-acción*, proposiciones verdaderas o falsas, que relacionan los conceptos-en-acción, con las cuales se producen las inferencias y la selección de reglas de acción para dominar la situación. Para la enseñanza son estos aspectos los que interesa investigar, ya que ellos contienen una parte explícita que se apoya en una conceptualización implícita, que resulta ser operatoria (Vergnaud, 1990; 1998).

- *Metas y anticipaciones*, que permiten identificar las clases de situaciones.

- *Reglas de acción*, del tipo «si... entonces», a partir de las cuales se genera una secuencia de acción específica para la situación, o reglas de búsqueda de información.

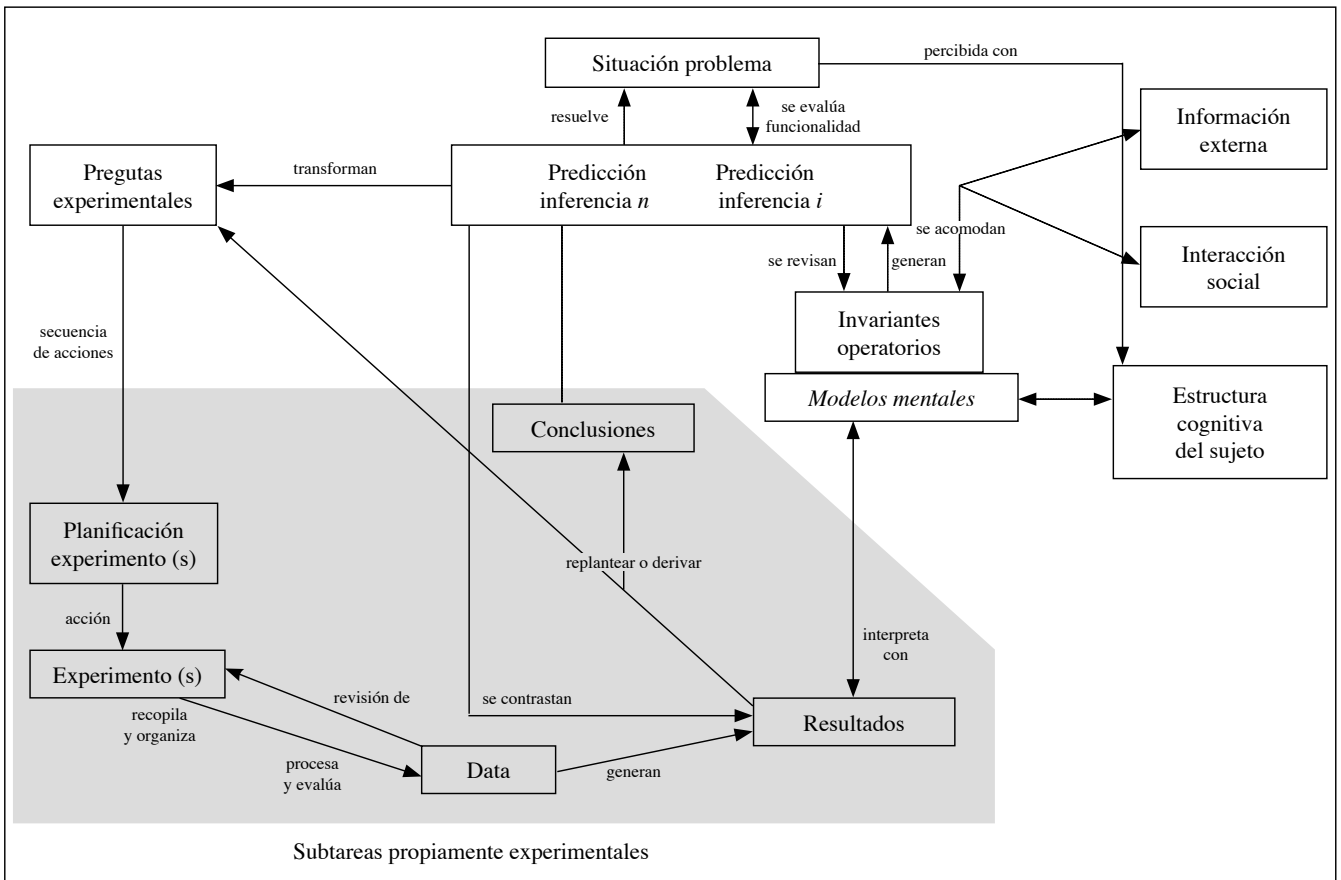
- *Posibilidades de inferencias* o razonamientos que permiten evaluar, «aquí y ahora», las reglas y anticipaciones a partir de los invariantes operatorios de que dispone el sujeto. Se efectúan con los tres ingredientes anteriores durante la actividad frente a la situación.

Para la construcción significativa de esquemas, resulta necesario enfrentar a los estudiantes a situaciones novedosas.

En la TCC, la idea de *concepto* es central y se considera constituido por tres conjuntos: i) las *situaciones* (el referente); ii) los *invariantes operatorios –conceptos y teoremas-en-acción–* (el significado); y iii) las *representaciones simbólicas* (lenguaje, gráficos, sentencias formales, diagramas...), que son utilizadas para representar los conceptos, sus propiedades y los procedimientos (el significativo) (Vergnaud, 1998; Rodríguez y Moreira, 2002).

Una *situación* constituye una tarea compleja (combinación de subtareas) cuya dificultad depende de la conceptualización para abordarla, más que de la cantidad de subtareas. En cada situación se ponen en acción algunas propiedades de los conceptos (IO), dándole sentido a éstos. Las situaciones se pueden agrupar en clases, en función de las propiedades de los conceptos requeridos para su solución.

Figura 1
Modelo dinámico de aprendizaje en los Trabajos de Laboratorio en Física, MATLaF.
 (Las subtareas propias del quehacer experimental se destacan en la región inferior sombreada del modelo).



En el modelo MATLaF, al exponer a los estudiantes ante situaciones novedosas, éstos perciben la situación con sus esquemas; y si no encuentran los que se ajustan a ella, construyen, recursivamente, modelos mentales (MM₁ a MM_n) hasta armar un plan de acción (Moreira, 2002). Estos MM_i son transitorios, pero contienen algunos elementos que permanecen, y parecen ser del tipo invariantes operatorios (IO), provenientes de esquemas de la memoria a largo plazo que se activaron ante la situación. Este primer plan de acción para abordar la situación de laboratorio incluye subtareas propias del quehacer experimental. Cada una de ellas, a su vez, puede resultar una situación nueva para el estudiante; en cuyo caso, se abordan en ciclos semejantes al descrito anteriormente (Figura 1).

La interacción social con pares, la mediación del docente, la búsqueda de información desde otras fuentes, la realización de observaciones, entre otros, pueden ayudar a precisar, modificar y enriquecer los invariantes operatorios. Con esto se da inicio a la construcción progresiva de esquemas adecuados para la situación. Hacer explícitos los significados que activan los estudiantes (IO), permite

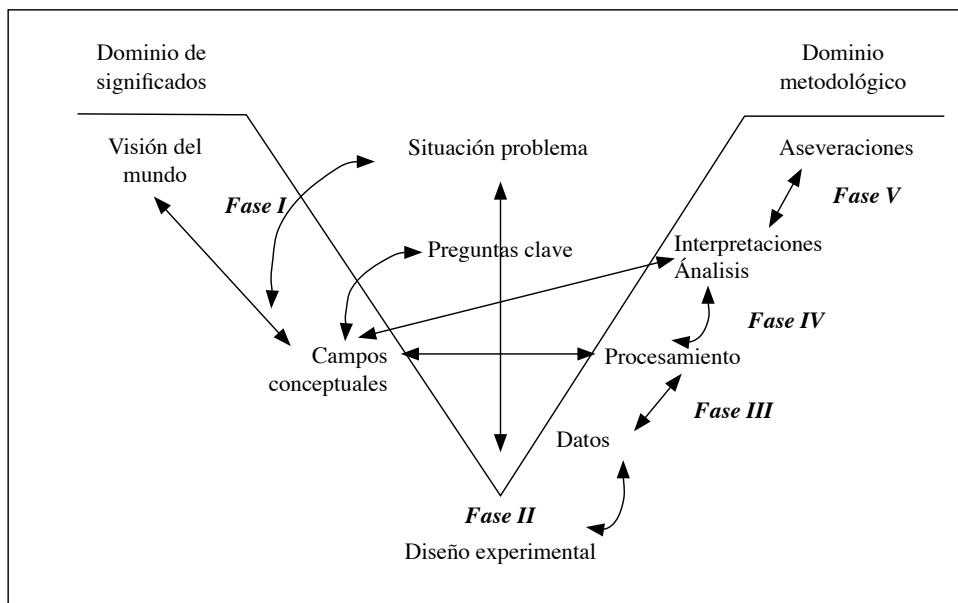
identificar su nivel conceptual y los posibles obstáculos para el aprendizaje de los significados aceptados en la ciencia; y así planificar la enseñanza para la construcción de significados que se aproximen a los científicos.

El conjunto de subtareas a desarrollar en un TL implica una interrelación entre el dominio de significados y el dominio metodológico, que ocurre de manera no explícita y varía según la situación. Una heurística para facilitar la toma de conciencia de esta dinámica basada en la V epistemológica de Gowin (Novak y Gowin, 1984) se presenta en la figura 2. Ella permite guiar el TL tanto del docente, como del propio estudiante.

Este trabajo corresponde a un estudio donde se desarrolló un TL guiado e interpretado desde el MATLaF, dentro del tema de Ondas Mecánicas. Con este TL se esperaban desarrollos conceptuales en dos campos conceptuales (CC) requeridos: el referido a ondas (teórico) y el asociado a las tareas propias de la actividad experimental (metodológico). En este artículo, presentamos los resultados obtenidos más relacionados con el segundo campo.

Figura 2

Representación de la interrelación entre el dominio de significados y el dominio metodológico durante un trabajo de laboratorio. Agrupación de subtareas en cinco fases diferenciadas.



METODOLOGÍA

El ensayo es considerado como un estudio de casos de tipo interpretativo, donde participaron cinco (5) estudiantes (seudónimos: Leo, Hilda, Yoli, Carlos, Juan) que conformaban el curso de Laboratorio III (mayo-noviembre, 2003), y habían participado previamente en un TL (estudio piloto) desarrollado según el mismo plan de acción de este ensayo y dirigido a la identificación de los IO referidos al CC propio de la actividad experimental. El TL del ensayo se hizo en 20 horas de clase (cuatro semanas). La estrategia didáctica siguió el plan de acción que establece cinco (5) fases interrelacionadas (Figura 2).

La experiencia de estos estudiantes en cursos de laboratorio previos se caracterizaba por TL planificados por el docente, con énfasis en la recolección, el procesamiento y la transformación de datos para el logro de objetivos propios del experimento.

La evolución en las conceptualizaciones de los estudiantes en el CC propio de la actividad experimental se evaluó comparando el estado inicial (estudio piloto) con el estado final (ensayo).

Estado inicial de los estudiantes. El TL diseñado para el estudio piloto planteaba la siguiente situación-problema: «una barra metálica flexible fija en un extremo y cargada con una masa en el otro». Se pregunta: «al desplazar la

barra de su extremo libre ¿se producen vibraciones de tipo armónico? En caso afirmativo, describa y argumente un modelo, señalando los factores de, que depende la frecuencia de oscilación». Con este estudio, que tuvo una duración de 25 horas, se pudo dar cuenta del desarrollo conceptual que tenían los estudiantes en cuanto a la actividad experimental (Andrés y Pesa, 2004). La información se recabó a partir de: a) una entrevista colectiva al final de la fase I, y b) los reportes finales. De estos resultados se estableció el desarrollo conceptual inicial de los estudiantes, sus dificultades de comprensión y las metas de aprendizaje para el siguiente TL en cuanto a las actividades metodológicas propiamente experimentales (Anexo A y Anexo B).

Estado final (ensayo). El TL en este ensayo comienza con la presentación de tres cuestionarios donde se presentan distintas situaciones-problema sobre ondas (péndulo de un reloj, olas, movimiento de una cuerda sujeta por un extremo a una pared, movimiento de una partícula de polvo próxima a un altavoz, otros), que se enmarcan en el campo conceptual de Ondas Mecánicas en medios considerados no dispersivos, tratando de focalizar distintas características de las ondas (naturaleza, propagación, velocidad, frecuencia) y la relación o dependencia entre las magnitudes implicadas. La información específica sobre el aprendizaje en el CC propio de la actividad experimental se recabó a partir de: i) los reportes finales, y ii) una entrevista individual al concluir el ensayo.

DESCRIPCIÓN DEL DESARROLLO DEL TL DEL ENSAYO

Al culminar la fase I del TL según el plan de acción (Figura 2) los estudiantes por consenso, y en función de los materiales disponibles (resortes para demostraciones de transmisión de pulsos y ondas, con una longitud sin estirar de 1,85 m y masa total, $m \approx 0,7$ kg), se plantearon las siguientes preguntas: ¿qué pasa con la velocidad de propagación de la onda cuando aumentamos la frecuencia de la fuente?, ¿en una onda longitudinal sobre un resorte la velocidad de propagación se relaciona con la máxima velocidad de cada espira?, ¿qué relación hay entre la longitud de onda y la frecuencia de la fuente?, ¿la velocidad de la onda depende del medio?, ¿qué se puede hacer para cambiar la velocidad de la onda?, ¿cómo queda afectada una onda cuando entra en un medio más denso que el inicial?, ¿cómo podemos determinar si los medios son no dispersivos?, ¿cómo varía la velocidad de propagación de la onda cuando cambiamos la amplitud del pulso?, ¿la onda transporta materia?

El desarrollo de la fase II, *diseño del trabajo experimental*, se inició con la intervención del docente, en una sesión de integración y discusión, donde los alumnos expusieron las conclusiones obtenidas de un tutorial (simulación en ordenador), el cual se consideró necesario para abordar algunas de sus dificultades de comprensión en el campo teórico. Ello le permitió al grupo reformular las preguntas y precisar los experimentos a diseñar.

A continuación, se puso especial énfasis en la discriminación de las variables relevantes en atención al modelo físico que estaban asumiendo y a las observaciones; éstas fueron: *velocidad de propagación de la onda (v), frecuencia de la fuente (f), longitud de la onda (λ), densidad del medio (ρ)*. Al manipular los resortes incluyeron y precisaron algunas variables no consideradas anteriormente, como: *forma del pulso, altura del movimiento de la mano (h); amplitud (A);* sustituyeron la *frecuencia de la fuente por el tiempo de duración del movimiento de la mano en subir y bajar (t_m)* e incorporaron el *tiempo en subir y bajar una espira (t_{espira})*. Asimismo, al considerar que un resorte se comporta de forma análoga a una cuerda, relacionaron la *velocidad de propagación ($v_{teórico}$)* con la *tensión (T)* a la cual estuviese sometido el resorte y su *densidad lineal*

(ρ_L) (*masa del resorte entre longitud del resorte estirado, $\rho_L = m / (L_o + L)$*), según la relación:

$$v = \sqrt{\frac{T}{\rho_L}} \quad (\text{ec. 1}).$$

Esta relación los llevó a cuestionar una de las hipótesis iniciales: *la frecuencia de la fuente determina la velocidad de propagación de la onda*, y a reformularla de la siguiente manera: *la frecuencia de la fuente no influye en la velocidad de propagación del pulso*. Esta acción puede ser considerada como una evidencia de reestructuración conceptual en los estudiantes, como lo plantea el modelo MATLaF.

Por último, diseñaron una tabla para organizar los experimentos propuestos, y establecieron el número de valores que tomarían para las variables independientes, VI, y dependientes, VD, en cada ensayo (Cuadro 1).

A continuación surgió el problema de la **medición de las variables**. Intentaron medir la velocidad de propagación de los pulsos con reglas y cronómetros, pero no lograron discriminar su variabilidad para los valores asignados a las variables independientes, debido a la imprecisión de las medidas. Para mejorar ésta se les ofreció como opción la grabación en vídeo del movimiento del pulso a lo largo del resorte, y la medición de posiciones en el tiempo con el programa VideoPointTM 1.

Los estudiantes planificaron las tomas de las películas para los diferentes experimentos propuestos. Colocaban el resorte en un banco horizontal de cemento liso cuya longitud era mayor al requerido por el experimento. Las tomas las efectuaron desde una altura de aproximadamente 2,5 m, con luz natural y con una velocidad de 1/500 s. Cada toma (viaje de ida y vuelta del pulso) la realizaron dos veces, para un total de 24 tomas.

Como muestra, a continuación presentamos algunos cuadros de películas con los registros de la mediciones de dos de las variables.

1) *Posición del pulso (x) en el tiempo*: marcaron la posición del pulso durante el recorrido tomando un punto de referencia de la perturbación (punto más alto del pulso) (Figura 3).

Cuadro 1
Tabla organizativa de los experimentos propuestos, diseñada por los estudiantes.

ENSAYO	VI	VD	VARIABLES A CONTROLAR	MODELO
1	t_{mi} (i: 3 valores)	v_{exp}	$L_o + L$; T; h_o ; forma	$v_{teórico}$
2	$T_i - \rho L_i$ (i: 5 valores)	v_{exp}	h_o , t_{mi} ; forma	$v_{teórico}$
3	h_i (i: 3 valores)	v_{exp}	$L_o + L$; T; t_m ; forma	$v_{teórico}$
4	forma (i: 2 valores)	v_{exp}	$L_o + L$; T; h_o ; t_m ; forma	$v_{teórico}$
5	t_{mi} (i: 3 valores)	t_{espira}	$L_o + L$; T; h_o ; forma	

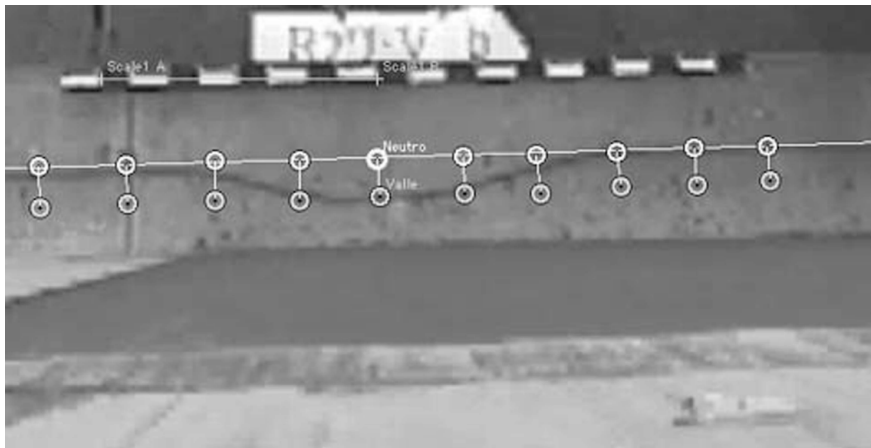
Figura 3

Posiciones del pico del pulso que se propaga en un resorte tenso, registrados en cada cuadro de la película ($\Delta t = 0,033$ s), mediante el programa VideoPoint™.



Figura 4

Registro de la distancia entre la posición del pico del pulso que se propaga en un resorte tenso, y la posición asociada en la línea de reposo, en cada cuadro de la película ($\Delta t = 0,033$ s) (VideoPoint™).



2) *Amplitud o altura del pulso (A)*: Posición del punto más alto del pulso y posición en la línea de reposo para diferentes momentos. El programa determina la distancia entre posiciones (Figura 4).

El trabajo de medición de las variables para los cinco (5) experimentos (Cuadro 1) se distribuyó entre los estudiantes. Los datos obtenidos con el VideoPoint los exportaron a archivos formato .txt; luego los procesaron y analizaron con un programa de hoja de cálculo.

PROCEDIMIENTO DE ANÁLISIS DE LOS DATOS DEL ENSAYO

Estado inicial

a) Los textos transcritos de la entrevista colectiva de la fase I del estudio piloto se procesaron de la siguiente manera:

– Se fragmentaron en episodios según su significación o intencionalidad y cada uno se dividió en unidades de análisis, UA (frases, oraciones o grupos de oraciones).

– Se identificaron IO (conocimientos contenidos en los esquemas) explícitos o se infirieron del discurso o de las acciones planteadas (UA).

– Se identificó el nivel representacional (analógico, verbal, simbólico matemático o gráfico, u otro) empleado por los estudiantes.

– Se intentó identificar la intencionalidad subyacente a los invariantes operatorios, así como las acciones asociadas a ellos.

b) Reporte final del TL sobre oscilaciones (R_{TL1}). Para la elaboración del reporte, la única sugerencia que se les dio a los estudiantes era que debía contener todo lo relativo a los elementos del plan general (Figura 2). Para el análisis de contenido de los mismos se consideraron las cinco fases: *análisis conceptual, descripción de los experimentos,*

procesamiento y transformación de los datos, análisis de los datos y conclusiones, además de la coherencia entre ellos. Para cada uno, se establecieron categorías que sintetizan las acciones más relevantes de la ejecución del TL (Cuadro 2).

Estado final

a) Reporte final del TL sobre ondas (R_{TL2}). Hay que destacar que los estudiantes habían recibido las observaciones, en relación con los aspectos señalados anteriormente, de la evaluación de los reportes del TL sobre oscilaciones. El análisis de contenido fue similar al reporte inicial. Los resultados del R_{TL2} fueron discutidos con cada uno de los estudiantes, lo cual se asumió como una estrategia de validación de resultados.

b) Entrevista individual. Se estableció un guión para la entrevista que incluía varios aspectos que complementaban y validaban la información obtenida con el reporte.

RESULTADOS

Estado inicial (estudio piloto)

La entrevista colectiva estaba centrada en la discusión sobre las respuestas a las preguntas del problema y el planteamiento de las preguntas clave del TL (oscilaciones).

El debate lo inició Leo, quien a partir de la unidad de análisis 17 comienza a proponer acciones y métodos relacionados con la actividad experimental. Establece qué variables hay que medir en atención a un modelo asumido para describir el fenómeno (Leo.17). Continúa identificando variables relevantes al problema y señalando procedimientos e instrumentos para su medición:

LEO.17. Creo que se pueden medir amplitud y período o frecuencia, por ser las magnitudes más sensibles en este modelo.

LEO.18. Podemos medir el coeficiente de elasticidad.

LEO.19. Se puede medir o calcular por algunas características del material.

LEO.20. Hemos pensado cómo medir las oscilaciones y las amplitudes, por dos métodos.

LEO.21. Uno es con la lámpara estroboscópica.

LEO.22. Sabremos la frecuencia de la barra al compararla con la frecuencia de la luz.

LEO.23. Al sintonizar las dos (lámpara y barra) puedo tener como una fotografía de la barra en una posición y

LEO.24. vamos a poder ver cómo la posición máxima de la barra va decreciendo, es decir,

LEO.25. un punto A, luego otro punto B menor que A y así sucesivamente, hasta detenerse.

LEO.26. El otro método es... agarrar una plumita en el extremo de la barra y un papel que vamos moviendo a velocidad constante, para ver la posición de la barra en el tiempo...

LEO.27. La ecuación que encontramos es la que ya conocemos del mov. armónico amortiguado (escribe en la pizarra)

$$x(t) = Ae^{-\gamma t} \cos(\omega t + \varphi)$$

LEO.28. Determino gamma (γ) con las amplitudes y la lámpara estroboscópica.

LEO.29. Es decir, este factor (señalando γ en el exponente) es el que va a hacer que esto (señalando la A) se reduzca,

LEO.30. porque para un instante t tiene un valor, pero después de un tiempo, es menor.

LEO.31. El factor que determina todo esto es Este que está acá (señalando en la relación la frecuencia angular).

LEO.32. Si yo sé cuál es ω , voy a poder sintonizar la lámpara con el movimiento de la barra.

LEO.33. Es decir, voy a igualar los tiempos de oscilación de ambos y eso es lo que me va a permitir... es hacer una fotografía.

LEO.34. De esta forma voy a poder medir la amplitud para diferentes tiempos...

Se observa, por el discurso de Leo, que tiene intención de planificar el trabajo experimental para contrastar una hipótesis, tras la cual existe un modelo que expresa simbólicamente (Leo.27). En estos fragmentos subyacen conceptos relativos al dominio metodológico como: *medir, calcular parámetros, método de medida, magnitudes sensibles, sincronizar*.

Interviene Yoli, quien incorpora nuevas variables relacionadas con la frecuencia (Yoli.5), las cuales parecen tener un origen intuitivo; sin embargo, no vuelve a hacer referencia a ellas.

YOLI.5. Nosotros (refiriéndose al estudiante Carlos) consideramos que depende tanto de la masa que está en el extremo de la barra, de la masa misma de la barra, la longitud de la barra y... de la fuerza que se ejerce para separarla de la posición de equilibrio.

Luego explicita la intención del trabajo (Yoli.6, Yoli.7) y plantea la necesidad de establecer un procedimiento experimental para obtener mediciones del período y del desplazamiento de la barra en el tiempo.

YOLI.6. Este... para llegar a algún tipo de diseño que nos permita llegar a las características de ese movimiento,

YOLI.7. este... se nos ocurrió así, como los gráficos de los libros que hemos usado, y en fotografía (curso tomado) sé que hay unas cámaras que permiten graduar el obturador, no sé exactamente en cuánto, puede captar la imagen y se gradúa el tiempo. Coloco la cámara fija y ella toma fotos cada cierto tiempo, si se ajusta esta obturación a la que necesito. Se toman todas las fotos.

Se observa que los aspectos a medir están asociados con una hipótesis implícita: *La variación o no de la amplitud de las oscilaciones y de la frecuencia permite discriminar si el movimiento es amortiguado o no* (Yoli.8, 9 y 10).

YOLI.8. y usando un sistema de referencia se puede ver el desplazamiento de la barra en el tiempo en que se toma la foto,

YOLI.9. y considerando T, se puede ver si la frecuencia se mantiene constante,

YOLI.10. y así podemos ver si es amortiguado o no, si es MAS.

De la entrevista colectiva se infiere la activación de conceptos-en-acción (CEA) y teoremas-en-acción (TEA) comparados, que hemos catalogado como propios de la actividad experimental. Éstos son:

CEA: «Medir, método de medida, variable a medir, medida directa, medida indirecta, control».

TEA: «Un diseño experimental consiste en establecer las variables a medir y los métodos a seguir en función de los instrumentos disponibles».

CEA: Relación entre variables.

TEA: Al estudiar una relación entre dos variables es necesario cambiar una variable, medir la otra y medir otras que son constantes.

En la tarea de **medir**, consideraban que una sola medición no era suficiente; sin embargo, no presentaron un criterio explícito para decidir cuántas veces deberían hacer las medidas en cada caso. Tampoco hicieron mención acerca de la estimación de los errores experimentales, ni de la propagación de éstos en las medidas indirectas.

En relación con el **procesamiento de datos**, presentaron cuadros bien organizados, identificando las variables y las unidades. Pero no indicaban el error en ninguna medida (directa o indirecta). Cabe recordar que estos estudiantes habían cursado dos laboratorios en los cuales se había estudiado este tema. Construyeron el gráfico de frecuencia angular-longitud; sin embargo, el análisis se limitó a una lectura descriptiva del gráfico, no hicieron transformaciones, ni hubo referencia al modelo teórico presentado como alternativa más próxima al problema, ni propuesta de un modelo que describiera el comportamiento de las variables.

Los reportes finales se clasificaron en dos tipos, evolucionado y estándar, atendiendo a los rasgos que figuran en la tabla siguiente:

REPORTE ESTÁNDAR	REPORTE EVOLUCIONADO
<p>a) Se encuentran todas las secciones consideradas pero la información contenida en ellos no está integrada.</p> <p>b) El análisis conceptual es un resumen del tema asociado con el TL, pero de él no se derivan implicaciones para la actividad experimental realizada y menos aún para el análisis de datos.</p> <p>c) Las transformaciones de datos reflejan acciones rutinarias con poco significado.</p>	<p>a) Coherencia entre las diferentes secciones, e integración entre lo teórico y lo experimental.</p> <p>b) El análisis conceptual presenta un modelo explicativo que resuelva el problema planteado y oriente la actividad experimental.</p> <p>c) El procesamiento y las transformaciones de datos se hacen en atención al modelo asumido como posible solución.</p> <p>d) Las conclusiones muestran la triangulación entre las preguntas planteadas, los resultados y lo esperado según el modelo (hipótesis).</p>

Se obtuvo que los reportes de tres estudiantes (Leo, Yoli, Juan) evidenciaron más rasgos del tipo «evolucionado» mientras que los elaborados por Hilda y Carlos estaban centrados en procedimientos propios del tipo «estándar».

El estado inicial de los estudiantes en relación con el CC propio de lo metodológico se sintetiza en:

1. Consideran las tareas propias del laboratorio como procedimientos algorítmicos en vez de como procesos complejos.

2. En el diseño experimental requieren precisión en cuanto a conceptos como: *variables dependiente, independiente e intervinientes, y control*.

3. En la medición requieren mayor dominio de los conceptos de: *error, precisión, propagación de errores, confiabilidad de las medidas*.

4. Para la ejecución del procesamiento y transformación de los datos requieren de conceptualizaciones referidas a modelaje e interrelación entre modelo y resultados. El desarrollo conceptual en relación con las tareas de procesamiento, transformación e interpretación de datos, y producción de conclusiones resultó muy intuitivo y poco discriminadas, limitándose a:

a. Organizar los datos en cuadros, identificando las variables y las unidades (sin considerar errores).

b. Construir gráficos $y = f(x)$ de las variables en estudio, identificando los ejes con las variables y unidades.

c. Describir el comportamiento de los datos en términos comparativos «a mayor X mayor (o menor) Y».

Estado final

A partir de los resultados del análisis de los reportes (R_{TL2}) de cada estudiante según las categorías establecidas que se presentan en el cuadro 2, se observa que Juan expresó con detalle todo el trabajo realizado, con gran coherencia y evidenciando tener significado para él. Leo no comunicó algunas acciones relevantes del TL como: caracterización de los instrumentos de medición, ajuste de cifras significativas en tablas de datos, y procedimientos empleados para el control de variables, pero parecería que dichas acciones sí las ejecutó y las tomó en cuenta, según la descripción de otras tareas como la presentación de los datos.

Yoli no coloca de manera explícita cuáles son sus hipótesis a partir del modelo considerado; sin embargo, en el análisis e interpretación de los datos éstas se hacen visibles; el resto de su reporte es claro y coherente.

Carlos centró su comunicación en el procesamiento, transformación, y análisis e interpretación de los resultados; el análisis conceptual era un resumen de un libro de texto acerca del tema de ondas, sin integración interna, ni relación con la situación del TL. En la sección de descripción de experimentos, sólo nombra las variables de cada experimento y describe el procedimiento empleado para su medición.

Hilda no logra comunicar el trabajo que realizó, y no discrimina entre las diferentes tareas propias del TL. Aunque presenta una buena descripción de los experimentos realizados, en los resultados incluye las tablas de datos y los gráficos de posición-tiempo acompañados sólo con una descripción y sin analizar; en las conclusiones repite otra vez los procedimientos experimentales y los gráficos con afirmaciones que no respalda con resultados, como por ejemplo:

Hilda: Para el análisis de los gráficos: 'si transporta materia o no, el cual se realizó de la siguiente manera: el programa Videopoint, con la película de Amplitud-velocidad tanto para la amplitud de 22 cm como para la de 11 cm y la película forma del pulso-velocidad, se tomó un punto P en el resorte, antes y después de que pasara el pulso por ese punto, donde el mismo se mueve verticalmente, por lo que su coordenada x permanece constante.

Hilda: Con la realización del gráfico posición-tiempo, podemos notar una recta que se acerca al origen, tiene una pendiente que es la velocidad, podemos decir que la velocidad es constante ya que ésta depende de las propiedades del resorte mas no de la amplitud que se haya determinado.

Por último, clasificamos los reportes en los dos tipos establecidos, *estándar* y *evolucionado*. Concluimos que los de Leo, Juan y Yoli son de tipo *evolucionado* y el de Hilda es del tipo estándar. Carlos presentó un reporte que tiene rasgos de ambos tipos: el análisis conceptual y la descripción de los experimentos es del tipo estándar, mientras que en las otras dos secciones se acerca al tipo evolucionado. Hay que destacar que desde la TCC, lograr una representación externa como los reportes evolucionados es una evidencia del aprendizaje.

Cuadro 2

Evaluación de los reportes finales (R_{TL2}) por estudiante, según las categorías establecidas por fase y atendiendo a las metas de aprendizaje (N:5) (X: presencia del rasgo en el reporte).

I. Análisis conceptual	Yoli	Leo	Hilda	Carlos	Juan
Establece los objetivos del TL	X	X	X	X	X
Explicita los conceptos relevantes para la situación del TL y las relaciones entre ellos	X	X	*	*	X
Expone las preguntas clave que guían el TL	X	X	X	X	X
Explicita las hipótesis o resultados esperados por cada pregunta	No explícito	X	--	--	X
Argumenta los resultados esperados	No explícito	X	--	--	X
Emplea diferentes niveles de representación de los conceptos y sus relaciones	X	X	Verbal	Verbal	X
<i>* Síntesis de la teoría presentada en los libros de texto, sin relación con la situación-problema del TL</i>					
II. Descripción de experimentos	Yoli	Leo	Hilda	Carlos	Juan
Establece las variables relevantes en cada experimento	X	X	X	X	X
Relaciona las preguntas y los experimentos	X	X	X	--	X
Describe el procedimiento de medida para las variables VI, VD	X	X	X	X	X
Describe el procedimiento de control de las variables intervinientes	X	--	X	--	X
Describe los instrumentos de medición utilizados	X	--	X	--	X
Señala la estimación de incerteza para las medidas directas	X	X	X	--	X
III-IV. Procesamiento, transformación y análisis de datos	Yoli	Leo	Hilda	Carlos	Juan
Ajusta cifras significativas según errores	X	--	X	X	X
Calcula errores de medidas indirectas	X	X	--	X	X
Expresa adecuadamente las mediciones	X	X	X	X	X
Organiza datos en tablas bien identificadas	X	X	X	X	X
Describe el proceso de transformación de datos	--	X	--	X	X
Existe relación entre preguntas, resultados esperados y transformaciones	X	X	--	X	X
Representa en gráficas pares de datos VI-VD	X	X	X	X	X
Establece ajustes de tendencia guiado por modelo	X	X	--	X	X
Contrasta gráficas experimentales con modelo	X	X	--	--	X
V. Conclusiones	Yoli	Leo	Hilda	Carlos	Juan
Organizadas en relación con las preguntas formuladas	X	X	--	X	X
Integra preguntas y resultados	X	X	--	X	X
Contrasta resultados con modelo	X	X	--	X	X
Hace sugerencias para nuevos experimentos	X	--	--	--	X
Formula declaraciones de valor	--	X	--	--	X

Comparación entre los estados inicial y final

La comparación entre el estado inicial y el estado final se sintetiza en el cuadro 3. Se puede observar que Leo, Juan y Yoli presentan un movimiento significativo en sus conceptualizaciones hacia los esquemas que se esperaban como metas de aprendizaje, en particular, ante las tareas de *diseño, medición y formulación de conclusiones*.

Por su parte, Carlos dio muestras de mayor desarrollo conceptual ante las tareas de *procesamiento y transformación* de los datos, las que al final concibe como tareas

a resolver, activando esquemas para su abordaje; respecto al *análisis conceptual* lo utiliza para guiar el proceso de *transformación de datos* y la *producción de conclusiones*; y estas últimas, las genera en atención a los resultados obtenidos (Cuadro 3).

Por último, se tiene que la evolución de Hilda fue baja; sólo se observaron cambios en cuanto a las concepciones demandadas al *diseñar el experimento*, mostrando en el reporte final del ensayo que lograba discriminar las variables relevantes en los experimentos que planearon.

Cuadro 3
Comparación de conceptualizaciones asociadas con el CC propio de la actividad experimental de los cinco estudiantes (Leo, Hilda, Juan, Carlos, Yoli) entre estado inicial (EI) y estado final (EF).

CATEGORÍAS DE ESQUEMA																
	1	2*	3*	4	5*	6	7	8*	9*	10	11*	12*	13*	14	15	16*
	AC			D		M				PTA	P	T	A	C		
EI		Leo		Leo		Leo	Leo				Leo	Leo	Leo			Leo
		Yoli		Yoli		Yoli	Yoli				Yoli	Yoli	Yoli		Yoli	
		Juan		Juan		Juan	Juan				Juan	Juan	Juan			Juan
	Hilda			Hilda		Hilda	Hilda			Hilda				Hilda		
	Carlos			Carlos		Carlos	Carlos			Carlos				Carlos		
EF		Leo	Leo		Leo			Leo	Leo		Leo	Leo	Leo			Leo
		Yoli	Yoli		Yoli			Yoli	Yoli		Yoli	Yoli	Yoli			Yoli
		Juan	Juan		Juan			Juan	Juan		Juan	Juan	Juan			Juan
	Hilda				Hilda	Hilda	Hilda			Hilda				Hilda		
	Carlos		Carlos	Carlos				Carlos			Carlos	Carlos				Carlos

* Esquemas esperados desde la perspectiva de la ciencia.

Análisis conceptual (AC)

1. El problema del TL se refiere a un campo teórico que debe ser conocido y resumido en forma escrita.
2. El problema del TL se enmarca en un campo teórico del cual se pueden derivar preguntas, hipótesis y predicciones.
3. El problema del TL se enmarca en un campo teórico que permite guiar el proceso de transformación y análisis de los resultados.

Diseño (D):

4. Al estudiar una relación entre dos variables es necesario cambiar una variable, medir otra y medir otras que se hacen constantes.
5. En el diseño de un experimento hay que establecer las variables: independiente y dependiente, así como las variables a controlar en atención al modelo establecido y las preguntas planteadas.

Medición (M):

6. Las medidas directas tienen un error experimental que depende sólo de la apreciación del instrumento de medida.
7. Una sola medida no es suficiente, es necesario efectuar varias medidas.

8. Es necesario efectuar varias mediciones, para tener confianza en ellas.

9. Toda medida directa tiene una incerteza que depende del procedimiento e instrumento empleado.

Procesar, transformar e interpretar datos, vistas como acciones de un todo (PTA):

10. Tareas no discriminadas: Organizar los datos en tablas con su identificación y unidades, graficar VI en función de VD para el estudio de relaciones y describir cómo cambia la VI en función de la VD.

Procesar (P), transformar (T) e interpretar (A) datos, vistas como tareas interrelacionadas:

11. El procesamiento de los datos permite sintetizarlos y conocer su precisión (error) en función de las variables en estudio.
12. Las transformaciones de los datos se hacen en función de los resultados esperados según el modelo asumido o en construcción.
13. El análisis de los datos, después de ratificar su fiabilidad, se hace considerando el conjunto de datos y los resultados esperados, con miras a ratificar explicaciones

o en busca de nuevas explicaciones ante resultados no esperados o en discrepancia.

Conclusiones (C):

- 14. Descripción de la tendencia observada en las gráficas VI: f(VD)
- 15. Afirmaciones derivadas del análisis de los datos.
- 16. Triangulación entre preguntas, resultados esperados y resultados obtenidos.

Entrevista individual final

Los resultados de las entrevistas individuales realizadas al finalizar el TL sobre ondas se presentan organizados según seis aspectos:

- 1. *Interrelación entre lo teórico y lo metodológico.* Los estudiantes tomaron conciencia de la importante y necesaria interrelación que debe existir entre lo teórico y lo metodológico durante las distintas fases de un TL. Dos de ellos asumen los modelos como referentes absolutos y verdaderos, mientras que otros dos consideran el modelo como algo tentativo, que puede evolucionar en atención a los resultados experimentales, y viceversa.
- 2. *Concepción de diseño experimental.* La entrevista permitió ratificar la evolución en el significado de esta tarea, pasando de ser una actividad centrada sólo en decidir qué variables medir, a una tarea más compleja que involucra decisiones en cuanto al control y manipulación de variables, y el análisis de la aproximación entre el modelo y las condiciones del experimento que está relacionada con las preguntas y los referentes.
- 3. *Concepción de los errores.* Para Hilda, los errores son un indicador de la calidad del procedimiento experimental, lo cual es relevante desde la física, pero unido a su idea de que la teoría es el referente verdadero, parecería que busca disminuir el error para acercarse a ese valor verdadero, sin tomar en cuenta aspectos fundamentales como, por ejemplo, los límites impuestos por la precisión del método de medición seleccionado, que no pueden superarse con repetición de mediciones.

Por el contrario, Leo considera que el error es una medida que señala la confiabilidad del experimento, y ante el hallazgo de discrepancias entre lo esperado y lo obtenido, plantea acciones como: la recolección de más medidas, la contrastación con nuevos ensayos, la comparación con trabajos realizados por otros, o el análisis de la correspondencia entre el experimento y el modelo.

Yoli ratifica su cambio en el significado de las conceptualizaciones relativas al tema de errores; si bien acepta que había estudiado el tema antes, no lo incorporaba al TL. «Lo que pasa es que en los cursos anteriores la clase de cálculo de errores fue teórica, pero no lo aprehendimos como una herramienta del TL, no lo apreciaba y por eso no lo usaba en los TL. Hasta ahora, que me di cuenta de su importancia.» Por otra parte, al darse cuenta de esta necesidad con el ensayo, tomó decisiones como la de revisar todos los materiales escritos que tenía sobre

el tema. También se observa que discrimina entre errores de procedimiento, cálculo u otros y los errores experimentales que dan idea de la precisión de las medidas.

Aun cuando Yoli asume inadecuadamente el modelo como algo aceptado sin discusión, en el caso de discrepancias entre los datos y el modelo considera que las medidas y sus errores deben ser evaluadas antes de descartarlas. «Los datos que no me daban ni remotamente parecidos a los esperados, yo siempre trataba de estimar qué podría obtener según el modelo, como hipótesis... En cambio, si me permitía explicar (referida a los errores) algo en el montaje que lo justificara, a pesar de que no lo esperaba, lo dejaba. Antes de borrarlo lo estudiaba».

Por último, Juan muestra el uso del concepto de exactitud y valora los errores en el estudio de un fenómeno. Se refiere a fallas del que hace el experimento pero no en el sentido de equivocaciones, sino del grado de aproximación que se tiene entre el modelo considerado y el fenómeno estudiado, ya que relaciona esto con posibles variables intervinientes no consideradas.

4. *Aprendizajes logrados* (en relación con conceptos de la actividad experimental). Ellos consideraron crucial la incorporación del computador tanto para las mediciones como para el análisis, y haber dedicado más tiempo a la reflexión sobre el fenómeno, y a las transformaciones y análisis de datos, en atención al modelo considerado. Hilda, aunque manifiesta haber aprendido sobre la tarea de transformar los datos, señala no haber alcanzado autonomía, lo cual se observó en su reporte final.

5. *Valor del plan general representado en la V de Gowin para el TL.* El uso de esta herramienta, en opinión del grupo, les permitió tomar conciencia de la complejidad del trabajo experimental; fue un organizador del proceso durante su realización. Lograron ver el TL como un conjunto integrado de tareas en las que se interrelacionan el dominio de significados y el dominio metodológico. También valoraron la presencia explícita de las preguntas clave producidas por ellos mismos, pues guiaban el desarrollo del TL.

6. *Comparación de este curso con los cursos de laboratorio realizados anteriormente.* Los estudiantes consideraron que esta forma de llevar adelante los TL es más significativa. Manifestaron que la propuesta de este ensayo implicaba mayor creación por parte del estudiante, como lo expresa Leo:

«En este laboratorio, no se presentaban preguntas concretas, estudiábamos la teoría y según ella decidíamos lo que íbamos a buscar, a veces no encontrábamos métodos experimentales para ello, fomentaba la imaginación para crear las preguntas basadas en el problema y la teoría estudiada. Antes nunca se planteó, si tenemos esto y esto ¿qué deberíamos obtener?, ¿qué estimamos?; nunca hubo una pregunta, una motivación para lo que íbamos a hacer».

O, como dice Yoli, «Este curso era de construir y comparar, uno veía el problema pero no sabía qué quería estudiar, el proceso consistía en definir el problema y replantearlo en términos experimentales, y luego pensar qué debo montar para responder o solventar el problema».

CONCLUSIONES

Los esquemas de los estudiantes en relación con el CC propio de la actividad experimental al inicio eran bastante primitivos desde la perspectiva de la ciencia y poco relacionados con las conceptualizaciones teóricas que fundamentan la situación problema. De la presente investigación se puede concluir que para los estudiantes antes del ensayo:

– *Un diseño experimental implica establecer las variables a medir* (en función de un modelo teórico considerado pertinente para el problema, o de la observación del fenómeno) y *los métodos a seguir en función de los instrumentos disponibles*. La acción derivada fue analizar los instrumentos disponibles para medir las variables identificadas como necesarias.

– *Estudiar una relación experimentalmente significa describir cómo cambia una variable al variar otra*, lo que llevó a las siguientes acciones: medir una variable Y al cambiar otra variable X y medir las otras variables fijas.

– *Una sola medida no es suficiente, es necesario efectuar varias medidas*. Se observó que no tenían criterios para establecer cuántas medidas pueden ser suficientes, parecía 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.

– *El procesamiento, la interpretación y generación de conclusiones son concebidos como procedimientos rutinarios, sin discriminar entre ellos*. La ejecución de estas tareas no resultó problemática para los estudiantes; se observó un patrón de acciones que consistía en: i) organizar los datos en cuadros identificando las variables (símbolo y unidad) sin indicar errores; ii) graficar $y = f(x)$ y iii) hacer una lectura descriptiva del gráfico. No establecieron relaciones con posibles modelos físicos, ni se construyó un modelo para representarlo, menos aún se establecieron criterios para determinar el ajuste de un modelo a los datos experimentales, por lo que en ningún caso ellos hicieron transformaciones de los datos.

Este nivel de desarrollo conceptual es comprensible, dado que en cursos anteriores, tal como ellos mismos señalaban en la entrevista final, su trabajo se limitó básicamente a ejecutar acciones establecidas por el docente.

Con el ensayo propuesto según el plan de acción (Figura 2) y el modelo MATLaF, se puede concluir que en cuanto al CC de la actividad experimental, abordar las tareas propias del quehacer experimental como situaciones problema permitió a la mayoría de los estudiantes (4 de 5) desarrollar conceptualizaciones afines a ellas, logrando discriminar entre las tareas y reconociendo que para la ejecución de cada una se requieren conceptos y teoremas

propios del campo conceptual relativo a la actividad experimental, cuya activación depende de la situación. Y además, los estudiantes lograron interrelacionar lo teórico y lo fenomenológico en las diferentes fases del TL. Sólo una estudiante mostró poco progreso; continuó sin discriminar entre las diferentes tareas experimentales, por lo que se considera que no logró dominar la situación de laboratorio. Sin embargo, es importante destacar que era consciente de estas dificultades, tal como lo expresó en la entrevista final.

Los resultados ratifican uno de los supuestos de la Teoría de Campos Conceptuales: el sujeto aprende en acción cognitiva frente a situaciones.

Entre los IO incorporados por cuatro de los estudiantes en relación con el CC propio de la actividad experimental, se tienen los siguientes:

CEA: *Diseño, pregunta clave, hipótesis, predicciones, variable interviniente, modelo-fenómeno, confiabilidad, incerteza, propagación de errores, transformación de datos, contrastación, ajuste de tendencias, modelo empírico, interpretación de resultados, conclusión.*

TEA: *El problema de un TL se aborda desde un campo teórico, derivando preguntas, hipótesis y predicciones. El dominio de significados guiará el proceso de transformación y análisis de los resultados.*

Para el diseño de un experimento hay que establecer las variables: independiente y dependiente, así como las variables a controlar en atención al modelo establecido y las preguntas planteadas.

Si se efectúan varias mediciones, se tendrá mayor confianza en ellas.

Toda medida directa tiene una incerteza que depende del procedimiento e instrumento empleado.

El procesamiento de los datos permite sintetizarlos y conocer su precisión (error) en función de las variables en estudio.

Las transformaciones de los datos se hacen en función del modelo asumido o en construcción.

El análisis de los datos, después de ratificar su fiabilidad, se hace considerando el conjunto de datos y los resultados esperados, con miras a ratificar explicaciones o en busca de nuevas explicaciones ante resultados no esperados o en discrepancia.

Las conclusiones resultan de triangular las preguntas, los resultados esperados y los resultados obtenidos.

Desde la Teoría de Campos Conceptuales, se puede concluir que: si el TL se problematiza, si se identifican los CC requeridos, y si se observan y orientan los procesos cognitivos durante la resolución de las tareas propias de la actividad experimental según el modelo MATLaF, es posible promover cambios en las concepciones de los estudiantes en cuanto a dichas tareas en combinación con el CC teórico. Esto permite tomar conciencia de la interrelación entre los modelos y los resultados experimentales, aspectos éstos que se constituyen en objetivos de aprendizaje legítimos del trabajo de laboratorio en la enseñanza de la física.

En tal sentido, parece pertinente el establecimiento y evaluación del Campo Conceptual propio de la actividad experimental, identificando los conceptos propios de cada una de las tareas típicas y las clases de situaciones en las que es posible poner en acción diversos rasgos del significado de los mismos. Por otra parte, establecer potenciales jerarquizaciones dentro de este CC en atención a la complejidad conceptual tendría implicaciones para el diseño y secuencia de los cursos de laboratorio en la enseñanza de la física.

Por último, dado que este ensayo fue realizado con un curso de pocos estudiantes en el contexto del profesorado de física, se propone la realización de nuevos ensayos en otros contextos educativos y con situaciones en otros campos teóricos de la física.

NOTA

1. VideoPoint™ (v.2.5) Lenox Software Lenox, MA.01240, 2001, licencia de Maite Andrés.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRÉS, M^a.M. (2005). «Diseño del trabajo de laboratorio con bases epistemológicas y didácticas: caso carrera de docentes de Física». Tesis Doctoral. Universidad de Burgos, España. ISBN 978-84-96394-59-9.

ANDRÉS, M^a.M. y PESA, M. (2004). Conceptos-en-acción y Teoremas-en-acción en un Trabajo de Laboratorio de Física. *Revista Brasileira de Investigação em Educação em Ciências*, 4(1), enero/abril. pp. 59-75.

ANDRÉS M^a. M., PESA, M.A. y MENESES, J. (2006). La actividad experimental en Física: Visión de estudiantes universitarios. *Paradigma*, Vol. XXVII (1), junio, pp. 349-363.

BARBERÁ, O. y VALDÉS, P. (1994). El trabajo práctico en la enseñanza de las ciencias: una revisión. *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*, España: Horsorí, Cap. III.

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

MARTINS, R. de A. (2004). Hipóteses e interpretação experimental: a conjectura de Poincare e a descoberta da hipérforescência por Bequerel e Thompson. *Ciência e Educação*, 10(3), pp. 502-516.

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*. 7(1) Art. 1 <http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/vol7/n1/v7_n1_a1.html>. Traducción de Isabel Iglesias.

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

RODRÍGUEZ, M^a.L. y MOREIRA, M.A. (2002). La teoría de los campos conceptuales de Gérard Vergnaud. *Texto de Apoyo 15 Programa Internacional de Doctorado en Enseñanza de las Ciencias (PIDEC)*. Universidad de Burgos, España; Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil.

SÉRÉ, M.G. (2002). Towards Renewed Research Questions from the Outcomes of the European Project Labwork in Science Education. *Science Education*, 86(1), pp. 624-644.

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

VERGNAUD, G. (1998). A comprehensive Theory of Representation for Mathematics Education. *Journal of Mathematical Behavior*, 17(2), pp. 167-181.

[Artículo recibido en mayo de 2006 y aceptado en enero de 2008]

Anexo A

Metas de aprendizaje del TL sobre ondas, en cuanto a las actividades metodológicas propiamente experimentales.

- a) Diseño experimental. Precisión en conceptos como: variables dependientes, independientes e intervinientes, y control de variables. Concreción de la interrelación modelo-fenómeno durante el proceso de elaboración del experimento y recolección de datos. Grado de ajuste de los modelos.
- b) Medición. Incremento en el dominio de los conceptos de: *error, incerteza, precisión, confiabilidad de las medidas*.
- c) Procesamiento, transformación, análisis e interpretación de los datos. Uso de las preguntas clave y el o los modelos como guía para: la organización (tablas, cuadros, otros), las transformaciones (operaciones estadísticas de los datos, propagación de errores, gráficos, ajuste de tendencias, ecuaciones empíricas, otros) y las interpretaciones de los datos (explicaciones integradas a los marcos teóricos de referencia).
- d) Generación de conclusiones. Producción de declaraciones de conocimiento y de valor a partir de la triangulación entre preguntas planteadas, resultados esperados según modelo y resultados obtenidos.
- e) Comunicación. Uso de múltiples representaciones (icónica, lingüística, gráfica y simbólica matemática) para expresar el trabajo desarrollado y los resultados obtenidos.

Anexo B

Metas de aprendizaje del TL sobre ondas, en cuanto a lo epistemológico.

Hacer explícita la permanente interrelación entre el dominio de significados y el dominio metodológico durante el trabajo experimental, se espera que incida en el desarrollo de una visión acerca de la actividad científica. Para el TL de ondas se plantearon las siguientes metas de aprendizajes referidas a lo epistemológico:

- a) Reconocer que los modelos se basan en abstracciones (medios sin fricción, homogéneos e infinitos, otros), y que éstos son construidos dentro de marcos teóricos para dar cuenta de los eventos del mundo real.
- b) Producir apropiadas explicaciones o argumentaciones.
- c) Reconocer las estrategias de indagación más convenientes para el estudio de la propagación de pulsos en cuerdas.
- d) Reconocer qué mediciones deben repetirse y cuáles pueden ser seleccionadas para su análisis.
- e) Reconocer los datos que no son confiables para generar conclusiones.
- f) Analizar la clase de datos que se producen y transformarlos en atención a preguntas planteadas.
- g) Seleccionar los procedimientos más apropiados para el análisis de los datos en atención al modelo asumido.
- h) Identificar los elementos que pueden hacer que una conclusión sea considerada confiable.
- i) Valorar la importancia de la contrastación de los resultados entre pares o con otros grupos de trabajo.
- j) Desarrollar capacidades de síntesis e integración para la comunicación de resultados por escrito a través de diarios, informes y reflexiones (portafolio).

The Effectiveness of a Laboratory When Guided by the MATLaF Learning Model for the Conceptual Development of Experimental Tasks

ANDRÉS, MARIA MAITE¹; PESA, MARTA A.² y MENESES, JESÚS³

¹ Departamento de Matemática y Física. Universidad Pedagógica Experimental Libertador-Pedagógico de Caracas. Venezuela

² Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología. Universidad Nacional de Tucumán. Argentina

³ Dpto. Didácticas de las Ciencias Experimentales. Facultad de Educación. Universidad de Burgos. España

maitea@cantv.net

mpesa@herrera.unt.edu.ar

meneses@ubu.es

Abstract

Nowadays, we accept that learning a methodological domain heavily combined with some theoretical framework of reference related to the proposed situation should prevail in Physics education as far as laboratory work (LW). To describe this cognitive process we have developed the MATLaF learning model based on the theory of Vergnaud's conceptual fields. From this model, the process of the methodological domain of the LW reveals cognitively complex tasks. This demands concepts and rules of action, from which the expected goals in LW learning can be inferred.

An interpretive-type case study was conducted with five Physics student teachers who took part in a laboratory course at the University of Venezuela. The test was carried out in guided LW and the results were later interpreted with MATLaF. The stated situation was associated with the topic of Mechanical Waves. The achievements were established in terms of the conceptual development expected as far as the proper tasks of the experimental activity (methodological) and the (theoretical) topic of waves, with the initial state (operative invariants) of the students considered to be as evaluated in a previous LW on oscillations.

The test was conducted in a class of twenty students (4 weeks) following a plan of action with five interrelated phases, which was represented on a Gowin V. The students acted individually or in pairs with several sharing sessions and the teacher acted as mediator in the discussion activity, guiding the search for and processing of the information. The first phase of the LW (plan of action) began with an individual activity in which the students responded to a series of ideas in writing on the topic and discussed the answers following a review of the information which allowed them to reach a consensus on the experimental questions. The development of the second, 'experimental work design', phase began with the exhibition of the conclusions obtained from a tutorial (computer simulation), which was considered necessary to approach some of their comprehension difficulties in the theoretical field. With the intervention of the teacher in an integration and discussion session, the students

re-formulated the questions and established: the experiments to be designed, the relevant variables in relation to the physical model that they were assuming, the number of values it would take for the independent and dependent variables in every test, the measurement procedures (the use of measuring the wave movements of a string on computer movies was employed). Once the proper experimental work was performed, they transformed and tried out the information in consideration of the theoretical field and the related questions.

The evolution of the students' conceptions was evaluated comparing the initial and final state of the test. Based on the students' initial condition, we concluded that: they consider the laboratory tasks as algorithmic procedures instead of complex processes; they do not discriminate between the concepts of: dependent and independent variables and interveners, mistake, precision, spread of mistakes, reliability of the measures. In relation to the information processing, transformation and interpretation tasks, and the production of conclusions, they were performed in a very intuitive and not very discriminated way, limiting themselves to routine actions unrelated to the theoretical field. The evaluation of the final condition and the evolution in the conceptual field of the experimental activity led us to conclude that approaching the proper tasks of the experimental occupation as problem situations allowed the majority of the students to develop related concepts, managing to discriminate between the tasks and recognizing the need for concepts and proper theorems of the conceptual field relative to the experimental activity for their execution. In addition, they managed to confirm the theoretical and phenomenological framework in the different phases of the LW. Only one student showed little progress; nevertheless, she was conscious of these difficulties. The results obtained demonstrate a good change in the meanings of the concepts (operative invariants) of four students, both as far as their approximation to the scientific meanings as for its quantity and relations. And finally, they ratify one of the suppositions of the theory of Conceptual Fields: the subject learns in cognitive action as opposed to situations.

Keywords: Laboratory work, conceptual development, experimental knowledge in conceptual field.

