

**UNIVERSIDAD DE BURGOS**  
**PROGRAMA INTERNACIONAL DE DOCTORADO**  
***ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS***

**Departamento de Didácticas Específicas**



**DISEÑO DEL TRABAJO DE LABORATORIO**  
**CON BASES EPISTEMOLÓGICAS Y COGNITIVAS:**  
**CASO CARRERA DE PROFESORADO DE FÍSICA**

**TESIS DOCTORAL**

**MARÍA MAITE ANDRÉS ZUÑEDA**

**Burgos, septiembre 2004**



# **PROGRAMA INTERNACIONAL DE DOCTORADO ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS**

**Departamento de Didácticas Específicas**



**Universidad de Burgos**



**Universidade Federal  
do Rio Grande do Sul**

## **DISEÑO DEL TRABAJO DE LABORATORIO CON BASES EPISTEMOLÓGICAS Y COGNITIVAS: CASO CARRERA DE PROFESORADO DE FÍSICA**

**MARÍA MAITE ANDRÉS ZUÑEDA**

Tesis Doctoral realizada por **D<sup>a</sup> M<sup>a</sup> María Maite Andrés Zuñeda**, para optar al Grado de Doctor por la Universidad de Burgos, bajo la dirección de la **Dra. Marta Azucena Pesa** y del **Dr. Jesús Ángel Meneses Villagrà**.

Burgos, septiembre 2005



## **DEDICATORIA**

*Las implicaciones académicas que se puedan derivar de éste trabajo están dedicadas muy especialmente a estudiantes del profesorado de física y a los de la maestría en Enseñanza de la Física. También a los profesores de física para que sigan ensayando y mejorando la actividad experimental en sus enseñanzas.*

*Con especial cariño le dedico a Douglas  
la esencia de este trabajo,  
quien ha sido fuente de inspiración  
para su desarrollo  
y de entusiasmo  
para su culminación.*



## **AGRADECIMIENTOS**

*En primer lugar, mi reconocimiento a todos los estudiantes que participaron de manera entusiasta y comprometida en las distintas etapas del estudio de campo de este trabajo, muy especialmente, a Yorlein, Laumar, José Luis, Cesar y Huggiana.*

*Al Dr. Marco Antonio Moreira quien con sus opiniones muy profesionales enriqueció este trabajo.*

*A la Dra. Concesa Caballero de quien siempre recibí una palabra de aliento y una oportuna atención, además, de sus valiosas aportaciones profesionales.*

*Al Dr. Jesús Meneses, codirector del trabajo, por sus siempre acertadas sugerencias durante la lectura de las versiones previas, y su permanente apoyo para llegar a feliz término.*

*A la Dra. Marta Pesa, directora de este trabajo, con quien tuve el placer de disfrutar cada pequeño avance y logro de esta investigación durante casi cuatro años, por su dedicación, paciencia y exhaustiva revisión de los múltiples papeles de trabajo surgidos en el proceso.*

*A los profesores Rodrigo y Vicky con quienes puede intercambiar y debatir algunos fundamentos de este trabajo.*

*Gracias a todos.*



# ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTOS	v
RESUMEN	vii
ÍNDICE GENERAL	ix

## *CAPÍTULO 1*

INTRODUCCIÓN.....	1.1
-------------------	-----

## *CAPÍTULO 2*

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN .....	2.1
2.1 DESCRIPCIÓN DE LA SITUACIÓN PROBLEMÁTICA .....	2.1
2.2 OBJETIVOS DE INVESTIGACIÓN .....	2.10
2.3 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN .....	2.10

## *CAPÍTULO 3*

SISTEMATIZACIÓN DE RESULTADOS DE INVESTIGACIÓN EN RELACIÓN CON LOS TRABAJOS DE LABORATORIO .....	3.1
3.1 INTRODUCCIÓN .....	3.1
3.2 LAS ACTIVIDADES DE LABORATORIO EN LA ENSEÑANZA DE LA FÍSICA.....	3.1
3.3 ROL DEL TRABAJO DE LABORATORIO DESDE LA PERSPECTIVA DE LOS PROFESORES .....	3.8
3.4 EFECTIVIDAD DEL TRABAJO DE LABORATORIO .....	3.9
3.5 EL TRABAJO DEL LABORATORIO SEGÚN EL NIVEL EDUCATIVO .....	3.11
3.6 LOS TRABAJOS DE LABORATORIO Y LA EVALUACIÓN DEL APRENDIZAJE QUE PROMUEVEN .....	3.13

## *CAPÍTULO 4*

LA EPISTEMOLOGÍA DE LA CIENCIA Y LOS TRABAJOS DE LABORATORIO .....	4.1
4.1 INTRODUCCIÓN .....	4.1
4.2 EL TRABAJO DE LABORATORIO EN LA CIENCIA DESDE DOS PERSPECTIVAS EPISTEMOLÓGICAS INTEGRADAS .....	4.2
4.2.1 <i>El Trabajo de Laboratorio desde una Concepción Estándar de la Ciencia</i> .....	4.9
4.2.2 <i>El Trabajo de Laboratorio desde la Nueva Filosofía de la Ciencia</i> .....	4.11
4.3 POSIBLES FACTORES A CONSIDERAR EN LOS CURSOS DE LABORATORIO DE FÍSICA DESDE LA PERSPECTIVA EPISTEMOLÓGICA .....	4.17

## **CAPÍTULO 5**

<b>TEORÍA DE CAMPOS CONCEPTUALES Y EL TRABAJO DE LABORATORIO .....</b>	<b>5.1</b>
<b>5.1 LA TEORÍA DE CAMPOS CONCEPTUALES .....</b>	<b>5.1</b>
5.1.1 <i>Esquemas</i> .....	5.3
5.1.2 <i>Invariantes operatorios</i> .....	5.6
5.1.3 <i>Situaciones</i> .....	5.9
5.1.4 <i>Campos Conceptuales</i> .....	5.13
<b>5.2 EL TRABAJO DE LABORATORIO: ESPACIO PARA EL APRENDIZAJE DE LA INTERRELACIÓN TEORÍA-PRÁCTICA.....</b>	<b>5.14</b>
<b>5.3 EL APRENDIZAJE EN EL LABORATORIO VISTO DESDE LA TEORÍA DE CAMPO CONCEPTUAL .....</b>	<b>5.21</b>
<b>5.4 LA INVESTIGACIÓN SOBRE LOS TRABAJOS DE LABORATORIO EN FUNCIÓN DEL MODELO DE APRENDIZAJE PROPUESTO (MATLaF) .....</b>	<b>5.24</b>
<b>5.5 CONSIDERACIONES FINALES.....</b>	<b>5.28</b>

## **CAPÍTULO 6**

<b>PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>6.1</b>
<b>6.1 CONCEPCIONES ACERCA DE LA ACTIVIDAD EXPERIMENTAL EN LA FÍSICA DE ESTUDIANTES UNIVERSITARIOS. ....</b>	<b>6.1</b>
<b>6.2 NIVEL DE DESARROLLO CONCEPTUAL EN RELACIÓN CON LA ACTIVIDAD EXPERIMENTAL EN EL AULA: 1. ESTUDIO PILOTO .....</b>	<b>6.2</b>
<b>6.3 CONTRIBUCIÓN DEL TRABAJO DE LABORATORIO AL DESARROLLO CONCEPTUAL: 2. ENSAYO EN UN CAMPO CONCEPTUAL DE FÍSICA .....</b>	<b>6.3</b>
<b>6.4 CONTRIBUCIÓN DEL TRABAJO DE LABORATORIO AL DESARROLLO DE UNA CONCEPCIÓN ACERCA DE LA ACTIVIDAD EXPERIMENTAL EN LA FÍSICA PRÓXIMA A LA CONCEPCIÓN NO ESTÁNDAR .....</b>	<b>6.4</b>

## **CAPÍTULO 7**

<b>NIVEL DE DESARROLLO CONCEPTUAL DE LOS ESTUDIANTES EN RELACION CON LA ACTIVIDAD EXPERIMENTAL EN EL TRABAJO DE LABORATORIO: ESTUDIO PILOTO .....</b>	<b>7-1</b>
<b>7.1 EL TRABAJO DE LABORATORIO DESDE UNA PERSPECTIVA COGNITIVA.....</b>	<b>7-1</b>
<b>7.2 PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>7-3</b>
<b>7.3 METODOLOGÍA DEL ESTUDIO PILOTO .....</b>	<b>7-4</b>
7.3.1 <i>Diseño del estudio</i> .....	7-6
7.3.2 <i>Situación-problema</i> .....	7-8
7.3.3 <i>Análisis físico del problema</i> .....	7-8
<b>7.4 REGISTROS Y ANÁLISIS DE DATOS .....</b>	<b>7-12</b>
<b>7.5 RESULTADOS .....</b>	<b>7-13</b>
7.5.1 <i>Situación inicial</i> .....	7-13
7.5.2 <i>Proceso experimental</i> .....	7-23
7.5.3 <i>Producción final</i> .....	7-27
<b>7.6 CONCLUSIONES .....</b>	<b>7-32</b>

## **CAPÍTULO 8**

<b>DESARROLLO CONCEPTUAL EN UN TRABAJO DE LABORATORIO ANALIZADO SEGÚN EL MODELO MATLAF EN EL CONTEXTO DEL TEMA DE ONDAS MECÁNICAS .....</b>	<b>8.1</b>
<b>8.1 INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>8.1</b>

<b>8.2 PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN DEL ENSAYO .....</b>	<b>8.1</b>
<b>8.3 METODOLOGÍA GENERAL DEL ENSAYO .....</b>	<b>8.2</b>
<b>8.4 RESULTADOS DEL MOMENTO DE INVESTIGACIÓN I: INVARIANTES OPERATORIOS .....</b>	<b>8.5</b>
8.4.1. Descripción de los Cuestionarios .....	8.7
8.4.1.1. Cuestionario 1: Naturaleza de las ondas .....	8.7
8.4.1.2. Cuestionario 2: Movimiento de las partículas del medio al propagarse la perturbación .....	8.8
8.4.1.3. Cuestionario 3: Relación entre: Velocidad de la onda, frecuencia de la fuente y propiedades del medio.....	8.8
8.4.2. Análisis e Interpretación de Resultados del Momento I desde la Teoría de Campos Conceptuales .....	8.9
8.4.2.1. Etapa 1. Respuestas escritas. ....	8.9
8.4.2.1.1. Frecuencias en las categorías de respuesta referido a: Naturaleza de las onda ....	8.17
8.4.2.1.2. Frecuencias en las categorías de respuesta referido a: Movimiento de las partículas del medio al propagarse la perturbación .....	8.19
8.4.2.1.3. Frecuencias en las categorías de esquema referido a: Relación entre Velocidad de la onda, frecuencia de la fuente y propiedades del medio. ....	8.21
8.4.2.2 Etapa 2. Entrevista colectiva .....	8.24
8.4.2.2.1 Análisis de episodios correspondientes al Cuestionario 1 .....	8.24
8.4.2.2.2 Análisis de episodios correspondientes al Cuestionario 3. Situación 1 .....	8.34
8.4.2.2.3 Análisis de episodios correspondientes al Cuestionario 3, Situación 2 .....	8.37
8.4.2.3 Etapa 3. Dificultades identificadas en los estudiantes en relación con los tópicos de ondas .....	8.39
<b>8.5 RESULTADOS DEL MOMENTO DE INVESTIGACIÓN II: DESARROLLO DE LA MEDIACIÓN DIDÁCTICA .....</b>	<b>8.41</b>
8.5.1 Fase II - A. Tutoriales sobre Ondas Mecánicas. ....	8.44
8.5.2 Fase II - B. Diseño experimental propiamente dicho.....	8.51
8.5.3 Fases III y IV. Procesamiento y análisis de los datos .....	8.58
8.5.4 Síntesis de la observación en aula durante la ejecución de las Fases II a IV del TL .....	8.59
<b>8.6 RESULTADOS DEL MOMENTO DE INVESTIGACIÓN III: EVALUACIÓN DE LOS APRENDIZAJES LOGRADOS .....</b>	<b>8.61</b>
8.6.1 Estado final: Resultados de los Reportes Finales.....	8.61
8.6.2 Estado Final: Resultados del Cuestionario Final.....	8.66
8.6.3 Evolución en el Desarrollo Conceptual, dominio teórico y dominio metodológico: Comparación entre el Estado Inicial y el Estado Final.....	8.72
8.6.3.1 Dominio teórico. ....	8.72
8.6.3.2 Dominio metodológico. ....	8.75
<b>8.7 RESULTADOS DEL MOMENTO DE INVESTIGACIÓN IV: REFLEXIÓN ACERCA DE LOS LOGROS ALCANZADOS CON EL ENSAYO.....</b>	<b>8.77</b>
8.7.1 Reflexiones escritas acerca de sus aprendizajes.....	8.77
8.7.2 Resultados de la Entrevista Final.....	8.83
8.7.3 Evolución de los estudiantes en el dominio epistemológico .....	8.96
<b>8.8 CONCLUSIONES GENERALES DEL ENSAYO .....</b>	<b>8.97</b>

## **CAPÍTULO 9**

<b>IMAGEN ACERCA DE LA ACTIVIDAD EXPERIMENTAL EN LA CIENCIA EN ESTUDIANTES UNIVERSITARIOS .....</b>	<b>9.1</b>
9.1 INTRODUCCIÓN .....	9.1
9.2 INSTRUMENTO PARA LA DETECCIÓN DE LAS CONCEPCIONES DE LOS ESTUDIANTES ACERCA DE LA ACTIVIDAD EXPERIMENTAL EN LA FÍSICA .....	9.2
9.2.1 Descripción del instrumento: Concepciones acerca de la Actividad Experimental en la Física, CAEF.....	9.5
9.2.2 Evaluación del Instrumento: Concepciones acerca de la Actividad Experimental en la Física, CAEF, con un grupo piloto.....	9.8

9.2.3 <i>Análisis de los resultados por cada Situación, en cuanto a las Concepciones acerca de la Actividad Experimental en la física de estudiantes universitarios</i> .....	9.8
9.2.3.1 Resultados en la Situación I: Parte I del CAEF .....	9.9
9.2.3.2 Resultados en la Situación II: Parte II del CAEF .....	9.14
9.2.3.3 Resultados en la Situación III: Parte III del CAEF .....	9.21
9.2.4 <i>Análisis Global de resultados sobre la Visión acerca de las Actividades Experimentales en la Física de estudiantes universitarios</i> .....	9.27
<b>9.3 IMPLICACIONES DE LA APLICACIÓN DEL INSTRUMENTO CONCEPCIONES ACERCA DE LA ACTIVIDAD EXPERIMENTAL EN LA FÍSICA, CAEF</b> .....	<b>9.36</b>
9.3.1 <i>Metodología para el análisis de resultados obtenidos con el CAEF en su versión de preguntas abiertas</i> .....	9.37
9.3.2 <i>Descripción del Instrumento CAEF en su versión de preguntas cerradas y Metodología para el análisis de resultados</i> .....	9.39
<b>9.4 CONCLUSIONES</b> .....	<b>9.40</b>

## ***CAPÍTULO 10***

### **CONTRIBUCIÓN DEL TRABAJO DE LABORATORIO DESARROLLADO SEGÚN EL MATLAF SOBRE LA CONCEPCIÓN ACERCA DE LA ACTIVIDAD EXPERIMENTAL EN FÍSICA**

<b>10.1 INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>10.1</b>
<b>10.2 PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN</b> .....	<b>10.1</b>
<b>10.3 METODOLOGÍA</b> .....	<b>10.3</b>
<b>10.4 RESULTADOS Y ANÁLISIS DE DATOS</b> .....	<b>10.4</b>
10.4.1 <i>Resultados por Situación Contextual</i> .....	10.4
10.4.1.1 <i>Análisis de resultados en la Situación I del CAEF, antes y después del Curso</i> .....	10.5
10.4.1.1 <i>Análisis de resultados en la Situación II del CAEF, antes y después del Curso</i> .....	10.9
10.4.1.1 <i>Análisis de resultados en la Situación III del CAEF, antes y después del Curso</i> .....	10.12
10.4.2 <i>Resultados por cada pregunta guía del CAEF</i> .....	10.20
<b>10.5 CONCLUSIONES</b> .....	<b>10.22</b>

## ***CAPÍTULO 11***

### **CONCLUSIONES GENERALES E IMPLICACIONES PARA LA ENSEÑANZA DE LA FÍSICA EN LOS CURSOS DE LABORATORIO**.....

<b>11.1 INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>11.1</b>
<b>11.2 CONCLUSIONES GENERALES ACERCA DEL TRABAJO DE LABORATORIO SEGÚN EL MATLaF</b> .....	<b>11.1</b>
11.2.1. <i>Concepciones que tienen los estudiantes universitarios acerca de la Actividad Experimental en la Física</i> .....	11.2
11.2.2 <i>El nivel de desarrollo conceptual que tienen los estudiantes en relación con la Actividad Experimental en el contexto del aula de Física</i> .....	11.8
11.2.3 <i>La efectividad del Trabajo de Laboratorio según el modelo MATLaF y las orientaciones epistemológicas establecidas, sobre el desarrollo conceptual (teórico, metodológico y epistemológico) del estudiante en el campo de la Física</i> .....	11.10
<b>11.3 UNA APROXIMACIÓN AL CAMPO CONCEPTUAL REFERIDO AL DOMINIO METODOLÓGICO DEL TRABAJO DE LABORATORIO EN LAS AULAS DE FÍSICA DEL NIVEL UNIVERSITARIO.</b> .....	<b>11.17</b>
<b>11.4 ORIENTACIONES PARA EL EJE EXPERIMENTAL EN UN CURRÍCULO DE FÍSICA.</b> .....	<b>11.21</b>

<b>REFERENCIAS</b> .....	<b>R-1</b>
--------------------------	------------

## **ANEXOS**

ANEXO 7-A. PROTOCOLO DE ENTREVISTAS COLECTIVAS DE DISCUSIÓN EN TORNO A LAS RESPUESTAS INICIALES, ESTUDIO PILOTO

ANEXO 7-B. REFLEXIONES PERSONALES DE LOS PARTICIPANTES AL CULMINAR EL TL DEL ESTUDIO PILOTO

ANEXO 8-A CUESTIONARIOS PARA ESTABLECER EL ESTADO DEL DESARROLLO CONCEPTUAL INICIAL

ANEXO 8-B GUIÓN DE TRABAJO CON LAS SIMULACIONES-TUTORIALES

ANEXO 8-C CUESTIONARIO PARA ESTABLECER EL ESTADO DEL DESARROLLO CONCEPTUAL FINAL

ANEXO 8-D REFLEXIONES ESCRITAS DE TRES ESTUDIANTES PARTICIPANTES EN EL ENSAYO, ORGANIZADOS POR UNIDADES DE ANÁLISIS

ANEXO 8-E GUIÓN PARA LA ENTREVISTA FINAL.

ANEXO 8-F PROTOCOLOS DE LAS ENTREVISTAS FINALES TRANSCRITAS

ANEXO 9-A INSTRUMENTO CONCEPCIONES DE LOS ESTUDIANTES ACERCA DE LA ACTIVIDAD EXPERIMENTAL EN LA FÍSICA, CAEF, VERSIÓN PREGUNTA ABIERTA

ANEXO 9-B GRAFICA DE VISIÓN ACERCA DE LA ACTIVIDAD EXPERIMENTAL DE CADA ESTUDIANTE EN ATENCIÓN A LAS OCHO PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN, SEGÚN LOS RESULTADOS DERIVADOS DEL INSTRUMENTO *CONCEPCIONES ACERCA DE LA ACTIVIDAD EXPERIMENTAL EN LA FÍSICA* (CAEF) (N:37)

ANEXO 9-C SISTEMA DE CATEGORÍAS DE RESPUESTA

ANEXO 9-D INSTRUMENTO *CONCEPCIONES DE LOS ESTUDIANTES ACERCA DE LA ACTIVIDAD EXPERIMENTAL EN LA FÍSICA*, CAEF. VERSIÓN PREGUNTA CERRADA

## ***LISTA DE FIGURAS***

FIGURA 1-1. Visión global de la estructura del contenido del presente informe .....	1-5
FIGURA 5-1. Representación de la interrelación entre lo implícito y lo explícito según la teoría de Campos Conceptuales expuesta por Gerard Vergnaud.....	5-12
FIGURA 5-2. Dinámica del desarrollo de un trabajo de laboratorio a partir de una situación problema, visto desde el quehacer de la ciencia. ....	5-20
FIGURA 5-3. Modelo de Aprendizaje para los Trabajos de Laboratorio de Física (MATLaF) .....	5-22
FIGURA 5-4. Modelo de Aprendizaje en los Trabajos de Laboratorio (MATLaF) Momentos claves para la recolección de datos: (1) Identificación de IO iniciales; (2) Identificación de IO en subtarear; (3) Identificación de aprendizaje; R1: Reflexión sobre expectativas de aprendizaje; R2: Reflexión sobre logros de aprendizaje. ....	5-27
FIGURA 5-5. Plan general para el desarrollo de un trabajo de Laboratorio. Fases: I. Análisis conceptual del problema; II. Diseño experimental; III. Recolección y Evaluación de datos; IV. Transformación, Análisis e Interpretación de los de datos; V. Conclusiones y Divulgación .....	5-29

FIGURA 7-1. (a) Modelo de Aprendizaje en los Trabajos de Laboratorio (MATLaF). (b) Visión ampliada del proceso cognitivo ante subtarear propiamente experimentales no conocidas (plan experimental, recolección de datos, procesamiento y análisis de datos, generación de conclusiones) .....	7-2
FIGURA 7-2. Plan general para el desarrollo de un Trabajo de Laboratorio. Fases: I. Análisis conceptual del problema; II. Diseño experimental; III. Recolección y Evaluación de datos; IV. Transformación, Análisis e Interpretación de los datos; V. Conclusiones y Divulgación .....	7-7
FIGURA 8-1. Plan general para el desarrollo de un Trabajo de Laboratorio. Fases: I. Análisis conceptual del problema; II. Diseño experimental; III. Recolección y Evaluación de datos; IV. Transformación, Análisis e Interpretación de los datos; V. Conclusiones y Divulgación .....	8-3
FIGURA 8-2. Pantalla de la Simulación A. ( <a href="http://www.sc.ehu.es/sbwch/fisica/ondas/descripcion/descripcion.html">www.sc.ehu.es/sbwch/fisica/ondas/descripcion/descripcion.html</a> ) .....	8-44
FIGURA 8-3. Pantalla de la simulación B. ( <a href="http://www.sc.ehu.es/sbwch/fisica/ondas/ondaArmónica/ondasArmónicas.html">www.sc.ehu.es/sbwch/fisica/ondas/ondaArmónica/ondasArmónicas.html</a> ) .....	8-45
FIGURA 8-4. Pantalla de la simulación C ( <a href="http://www.sc.ehu.es/sbwch/fisica/ondas/refraccion/refraccion.html">www.sc.ehu.es/sbwch/fisica/ondas/refraccion/refraccion.html</a> ) .....	8-46
FIGURA 8-5. Impresión del cuadro # 10 de una película tomada para el estudio de la relación entre forma del pulso y la velocidad de propagación del mismo ( $T=(8.5 \pm 0.5)N$ ; $\rho_L = (0.143 \pm 0.001)kg/m$ ) ....	8-54
FIGURA 8-6. Registro de las posiciones del pico del pulso que se propaga en un resorte tenso, en cada cuadro de la película ( $\Delta t = 0.033$ s). Las medidas se efectuaron con el programa VideoPoint <sup>TM</sup> .....	8-55
FIGURA 8-7. Registro de las posiciones inicial y final de una perturbación que se propaga en un resorte tenso en un instante determinado. Medidas realizadas con el programa VideoPoint <sup>TM</sup> .....	8-55
FIGURA 8-8. Registro de las posiciones de la mano en el punto de reposo y en el punto más alto. Las medidas se efectuaron con el programa VideoPoint <sup>TM</sup> .....	8-56
FIGURA 8-9. Registro de la distancia entre la posición del pico del pulso que se propaga en un resorte tenso, y la posición en la línea de reposo, para cuadros consecutivos de la película ( $\Delta t = 0.033s$ ). Medidas realizadas con el programa VideoPoint <sup>TM</sup> .....	8-56
FIGURA 8-10. Registro de las sucesivas posiciones de un punto de referencia en el resorte durante el paso de un pulso que se propaga en él. Intervalo de tiempo entre cuadros de la película: 0.033s. Medidas realizadas con el programa VideoPoint <sup>TM</sup> . A) Comienza a propagarse el pulso por el punto de referencia. B) Termina el paso del pulso por el punto de referencia .....	8-57
FIGURA 9-1. Estructura general del instrumento: Concepciones acerca de la Actividad Experimental en la Física, CAEF .....	9-5
FIGURA 9-2. Correspondencia entre el Instrumento: CAEF y las Preguntas de Investigación. ....	9-7
FIGURA 9-3. Visión epistemológica predominante (moda) en cada estudiante en función de la Situación presentada en el Instrumento CAEF (a) Estudiante 1-18; (b) Estudiante 19-37.....	9-26
FIGURA 9-4. Visión epistemológica predominante para el grupo total (frecuencia de categorías por individuo) por cada Situación expuesta en el Instrumento CAEF. y moda entre las frecuencias grupales (N:37).....	9-27

FIGURA 9-5. Visión epistemológica predominante en los ítem del Instrumento CAEF, que corresponden a la Pregunta de Investigación 2 (N:37).....	9-29
FIGURA 9-6. Visión epistemológica predominante en los ítem del Instrumento CAEF, que corresponden a la Pregunta de Investigación 3 (N:37).....	9-30
FIGURA 9-7. Visión epistemológica predominante en los ítem del Instrumento CAEF, que corresponden a la Pregunta de Investigación 4 (N:37).....	9-32
FIGURA 9-8. Visión epistemológica predominante en los ítem del Instrumento CAEF, que corresponden a la Pregunta de Investigación 7 (N:37).....	9-34
FIGURA 9-9. Visión epistemológica predominante en los ítem del Instrumento CAEF, que corresponden a la Pregunta de Investigación 8 (N:37).....	9-35
FIGURA 9-10. Visión epistemológica predominante en las Preguntas de Investigación (8), según los resultados obtenidos con el Instrumento CAEF (N:37).....	9-36
FIGURA 10-1. Valores modales de los estudiantes en las tres situaciones del instrumento CAEF, antes y después del curso.....	10-19
FIGURA 10-2. Frecuencia de los valores modales en las tres situaciones del instrumento CAEF, antes y después del curso.....	10-19
FIGURA 10-3. Valores modales por estudiante en las tres situaciones del instrumento CAEF, antes y después del curso.....	10-21

## ***LISTA DE CUADROS***

CUADRO 4-1. Síntesis de posibles aspectos a analizar en los cursos de laboratorio .....	4-19
CUADRO 7-1. Textos del Registro <i>a</i> (respuesta individual escrita al planteamiento inicial) en unidades de análisis por estudiante.....	7-14
CUADRO 7-2. Síntesis de los reportes finales de los estudiantes.....	7-28
CUADRO 7-3. Preguntas guía para la reflexión de los estudiantes acerca del aprendizaje y las dificultades confrontadas.....	7-29
CUADRO 7-4. Aprendizajes logrados en opinión de los estudiantes.....	7-31
CUADRO 7-5. Diferencias entre el TL realizado y sus experiencias anteriores según los estudiantes.....	7-32
CUADRO 8-1. Conceptos-en-acción (CEA) y teoremas-en-acción (TEA) activados por los estudiantes (N:13) ante situaciones relacionadas con el tema de: naturaleza de la onda, propagación de la onda y dependencia de la velocidad de la onda con otras variables; y las categorías de respuesta. ....	8-13
CUADRO 8-2. Resultados obtenidos con el Cuestionario 1, por situación (N: 13). ....	8-18
CUADRO 8-3. Resultados obtenidos con el Cuestionario 2, por situación (N: 13). ....	8-21
CUADRO 8-4. Resultados obtenidos con el Cuestionario 3, por situación (N: 13). ....	8-21

CUADRO 8-5. Categorías de respuestas escritas a las situaciones del Cuestionario 1, por estudiante (N:5). .....	8-25
CUADRO 8-6. Categorías de respuestas escritas dadas a la Situación 1 del Cuestionario 3, por estudiante (N:5). .....	8-34
CUADRO 8-7. Categorías de las respuestas escritas dadas a la Situación 2 del Cuestionario 3, por estudiante (N:5). .....	8-37
CUADRO 8-8. Conclusiones categorizadas de los 5 estudiantes, al finalizar el tutorial con la Simulación A. ....	8-46
CUADRO 8-9. Interpretación a las conclusiones de los 5 estudiantes expresadas al finalizar el tutorial con la Simulación A. ....	8-47
CUADRO 8-10. Conclusiones categorizadas de los 5 estudiantes dadas al finalizar el tutorial con la Simulación B. ....	8-48
CUADRO 8-11. Interpretación a las conclusiones de los 5 estudiantes expresadas al finalizar el tutorial con la Simulación B. ....	8-49
CUADRO 8-12. Conclusiones de los 5 estudiantes dadas al finalizar el tutorial con la Simulación C. ....	8-49
CUADRO 8-13. Interpretación a las conclusiones de los 5 estudiantes expresadas al finalizar el tutorial con la Simulación C. ....	8-50
CUADRO 8-14. Tabla diseñada por los estudiantes para la organización de los experimentos, antes de su ejecución. ....	8-52
CUADRO 8-15. Evaluación de los Reportes Finales por estudiante, según las categorías establecidas (N:5) (X: presencia del rasgo en el reporte) .....	8-63
CUADRO 8-16. Respuesta de los cinco estudiantes ante la afirmación 1 de la situación A del Cuestionario Final. ....	8-67
CUADRO 8-17. Respuesta de los cinco estudiantes ante la afirmación 2 de la situación A del Cuestionario Final. ....	8-68
CUADRO 8-18. Respuesta de los cinco estudiantes ante la afirmación 3 de la situación A del Cuestionario Final. ....	8-69
CUADRO 8-19. Respuesta de los cinco estudiantes ante la pregunta B.1 de la situación B del Cuestionario Final. ....	8-70
CUADRO 8-20. Respuesta de los cinco estudiantes ante la pregunta B.2 de la situación B del Cuestionario Final. ....	8-71
CUADRO 8-21. Conceptualizaciones en el dominio teórico de los cinco (E6L, E2H, E4J, E1C, E5Y) estudiantes identificadas en diferentes momentos durante el desarrollo del TL. (Estado inicial: Momento I; Estado medio: Después de tutorial; Estado final 1: Reporte Final; Estado final 2: Cuestionario final) .....	8-74
CUADRO 8-22. Conceptualizaciones en el dominio metodológico de los cinco estudiantes (E6L, E2H, E4J, E1C, E5Y) (Estado inicial: Estudio Piloto, previo al TL del ensayo; Estado final: Reporte Final) .....	8-76
CUADRO 8-23 Logros alcanzados por los estudiantes en el dominio epistemológico con el desarrollo del TL referido a la propagación de ondas mecánicas. (N: 5) .....	8-96

CUADRO 9-1. Categorías de respuestas a la pregunta <i>A</i> de la Parte I del instrumento CAEF, recogidas en el estudio piloto (N: 37) (CE: concepción estándar; CNE: Concepción no estándar; N: neutral) .....	9-9
CUADRO 9-2. Categorías de respuestas a la pregunta <i>E</i> de la Parte I del instrumento CAEF, recogidas en el estudio piloto (N: 37). (CE: concepción estándar; CNE: Concepción no estándar; N: neutral) .....	9-10
CUADRO 9-3. Categorías de respuestas a la pregunta <i>B</i> de la Parte I del instrumento CAEF, recogidas en el estudio piloto (N: 37). (CE: concepción estándar; CNE: Concepción no estándar; N: neutral) .....	9-10
CUADRO 9-4. Categorías de respuestas a la pregunta <i>C</i> de la Parte I del instrumento CAEF, recogidas en el estudio piloto (N: 37). (CE: concepción estándar; CNE: Concepción no estándar; N: neutral) .....	9-11
CUADRO 9-5. Categorías de respuestas a la pregunta <i>F</i> de la Parte I del instrumento CAEF, recogidas en el estudio piloto (N: 37). (CE: concepción estándar; CNE: Concepción no estándar; N: neutral) .....	9-11
CUADRO 9-6. Categorías de respuestas a la pregunta <i>G</i> de la Parte I del instrumento CAEF, recogidas en el estudio piloto (N: 37). (CE: concepción estándar; CNE: Concepción no estándar; N: neutral) .....	9-12
CUADRO 9-7. Categorías de respuestas a la pregunta <i>D</i> de la Parte I del instrumento CAEF, recogidas en el estudio piloto (N: 37). (CE: concepción estándar; CNE: Concepción no estándar; N: neutral) .....	9-13
CUADRO 9-8. Categorías derivadas de las respuestas a la pregunta <i>A</i> de la Parte II del instrumento CAEF, recogidas en el estudio piloto, en función de los cuatro elementos establecidos para el diseño. (CE: concepción estándar; CNE: Concepción no estándar; N: neutral) .....	9-15
CUADRO 9-9. Caracterización de los cinco (5) diseños <u>completos</u> en función de las acciones específicas calificadas epistemológicamente (CUADRO 9-8) según las respuestas a la pregunta <i>A</i> de la Parte II del instrumento CAEF, en el estudio piloto (N:37). .....	9-16
CUADRO 9-10. Tipos de diseños <u>Incompletos</u> (N: 22) en función de las acciones específicas por cada elemento del diseño (CUADRO 9-8). Respuestas a la pregunta A Parte II del instrumento CAEF, recogidas en el estudio piloto (N:37). .....	9-17
CUADRO 9-11. Categorización y calificación de los diseños <u>Incompletos</u> (N: 22) en función de las acciones específicas y epistemológicamente (CUADRO 9-8) según las respuestas a la pregunta <i>A</i> de la Parte II del instrumento CAEF, recogidas en el estudio piloto (N:37). .....	9-18
CUADRO 9-12. Categorías de respuestas a la pregunta <i>B</i> de la Parte II del instrumento CAEF, recogidas en el estudio piloto (N: 36). (CE: concepción estándar; CNE: Concepción no estándar; N: neutra .....	9-19
CUADRO 9-13. Categorías de respuestas a la pregunta <i>C</i> de la Parte II del instrumento CAEF, recogidas en el estudio piloto (N: 36). (CE: concepción estándar; CNE: Concepción no estándar; N: neutral) .....	9-19
CUADRO 9-14. Categorías de respuestas a la pregunta <i>D.I</i> de la Parte II del instrumento CAEF, recogidas en el estudio piloto (N: 36). (CE: concepción estándar; CNE: Concepción no estándar; N: neutral).....	9-20

CUADRO 9-15. Categorías de respuestas a la pregunta <i>D.2</i> de la Parte II del instrumento CAEF, recogidas en el estudio piloto (N: 36). (CE: concepción estándar; CNE: Concepción no estándar; N: neutral) .....	9-21
CUADRO 9-16. Categorías de respuestas a la pregunta <i>A</i> de la Parte III del instrumento CAEF, recogidas en el estudio piloto (N: 37). (CE: concepción estándar; CNE: Concepción no estándar; N: neutral) .....	9-22
CUADRO 9-17. Categorías de respuestas a la pregunta <i>B</i> de la Parte III del instrumento CAEF, recogidas en el estudio piloto (N: 37) (CE: concepción estándar; CNE: Concepción no estándar; N: neutral) .....	9-23
CUADRO 9-18. Categorías de respuestas a la pregunta <i>C</i> de la Parte III del instrumento CAEF, recogidas en el estudio piloto (N:37). (CE: concepción estándar; CNE: Concepción no estándar; N: neutral) .....	9-24
CUADRO 10-1. Correspondencia entre las cuestiones del Instrumento CAEF y las Preguntas de Investigación guía. ....	10-4
CUADRO 10-2. Respuestas antes y después del curso, en la Situación I, ítem IA, instrumento CAEF, según el sistema de categorías y valoración (Anexo 9-C). ....	10-6
CUADRO 10-3. Respuestas antes y después del curso, en la Situación I, ítem IE, instrumento del instrumento CAEF, según el sistema de categorías y valoración (Anexo 9-C). ....	10-6
CUADRO 10-4. Respuestas antes y después del curso, en la Situación I, ítem IB, instrumento del instrumento CAEF, según el sistema de categorías y valoración (Anexo 9-C).. ....	10-7
CUADRO 10-5. Respuestas antes y después del curso, en la Situación I, ítem IC- IF, instrumento del instrumento CAEF, según el sistema de categorías y valoración (Anexo 9-C). ....	10-7
CUADRO 10-6. Respuestas antes y después del curso, en la Situación I, ítem IG, instrumento del instrumento CAEF, según el sistema de categorías y valoración (Anexo 9-C). ....	10-8
CUADRO 10-7. Respuestas antes y después del curso, en la Situación I, ítem ID, instrumento del instrumento CAEF, según el sistema de categorías y valoración (Anexo 9-C). ....	10-8
CUADRO 10-8. Respuestas antes y después del curso, en la Situación II, ítem IIA, instrumento del instrumento CAEF, según el sistema de categorías y valoración (Anexo 9-C). ....	10-9
CUADRO 10-9. Respuestas antes y después del curso, en la Situación II, ítem IIB e IIC, instrumento del instrumento CAEF, según el sistema de categorías y valoración (Anexo 9-C). ....	10-10
CUADRO 10-10. Respuestas antes y después del curso, en la Situación II, ítem IID.1, instrumento del instrumento CAEF, según el sistema de categorías y valoración (Anexo 9-C). ....	10-11
CUADRO 10-11. Respuestas antes y después del curso, en la Situación II, ítem IID.2, instrumento del instrumento CAEF, según el sistema de categorías y valoración (Anexo 9-C). ....	10-12
CUADRO 10-12. Respuestas antes y después del curso, en la Situación III, ítem IIIA, instrumento del instrumento CAEF, según el sistema de categorías y valoración (Anexo 9-C). ....	10-13
CUADRO 10-13. Respuestas antes y después del curso, en la Situación III, ítem IIIB, instrumento del instrumento CAEF, según el sistema de categorías y valoración (Anexo 9-C). ....	10-13
CUADRO 10-14. Respuestas antes y después del curso, en la Situación III, ítem IIIC.(1-2), instrumento del instrumento CAEF, según el sistema de categorías y valoración (Anexo 9-C). ....	10-14

CUADRO 10-15. Respuestas antes y después del curso, en la Situación III, ítem IIIC.(3-4), instrumento del instrumento CAEF, según el sistema de categorías y valoración (Anexo 9-C). .....	10-15
CUADRO 10-16. Respuestas antes y después del curso, en la Situación III, ítem IIIC.5, instrumento del instrumento CAEF, según el sistema de categorías y valoración (Anexo 9-C). .....	10-15
CUADRO 10-17. Respuestas antes y después del curso, en la Situación III, ítem IIIC.(6-7), instrumento del instrumento CAEF, según el sistema de categorías y valoración (Anexo 9-C). .....	10-16
CUADRO 10-18. Síntesis de las respuestas de los estudiantes en el instrumento CAEF, antes (1) y después (2) del curso, codificadas según el sistema de categorías y valoración del Anexo 9-C (Concepción estándar, CE = 3; concepción no estándar, CNE =1; neutral, N =2) .....	10-18
CUADRO 10-19. Valores modales de las respuestas integradas según Preguntas guía del instrumento CAEF, antes (1) y después (2) del curso. (Concepción estándar, CE = 3; concepción no estándar, CNE = 1; neutral, N = 2) .....	10-20
CUADRO 10-20. Cambios en las concepciones de los estudiantes por Preguntas que guían el instrumento CAEF, antes y después del curso. (cambio positivo + pasa a CNE, cambio negativo - pasa a CE; =1 no varía la concepción) .....	10-22
CUADRO 11-1. Comparación de los esquemas predominantes (antes y después del ensayo) relativos con el dominio metodológico entre los estudiantes (N:5) .....	11-14
CUADRO 11-2. Contenidos por cada tarea propia del quehacer experimental.....	11-19
CUADRO 11-3 Una muestra de posibles problemas a presentar como Trabajos de laboratorio según la clase de situación y el dominio teórico. ....	11-20

# **CAPÍTULO 1**

## **INTRODUCCIÓN**

# CAPÍTULO 1

## INTRODUCCIÓN

La experiencia profesional como profesora en enseñanza media y en educación superior, me ha llevado a la indagación y al estudio de la problemática relacionada con la enseñanza de la física, y en particular, con los trabajos de laboratorio (TL). Al igual que muchos autores, se observa que la mayoría de los cursos de laboratorio enfatizan el desarrollo de procedimientos pero sin justificación dentro del proceso experimental como un todo, y sin relación con el contexto teórico implicado en las situaciones de laboratorio. En ellos existe una fuerte tendencia en enfatizar el formalismo, las reglas del procesamiento estadístico de los datos; omitiendo los aspectos dirigidos a la comprensión del marco conceptual que guía el experimento y a la modelización necesaria para interpretar los datos derivados del experimento y establecer hipótesis que orienten nuevos experimentos.

En la enseñanza media en Venezuela, desde hace por lo menos cincuenta años, los cursos de física incluyen en su distribución horaria, un tiempo para las clases expositivas y un tiempo para el quehacer de laboratorio; para este último, el curso se divide en dos grupos de trabajo, es decir, que el profesor trabaja con medio grupo de estudiantes cada vez. A pesar de ello, se observa que en la mayoría de las instituciones educativas de nivel medio, con el paso del tiempo, el trabajo de laboratorio ha sido sustituido por sesiones en las que se resuelven ejercicios y problemas de lápiz y papel. En los pocos casos en que se llevan a cabo actividades de laboratorio, éstas no están integradas con las clases expositivas del curso, por ejemplo, la problemática que se aborda en las prácticas no es la misma que la que se trabaja durante las sesiones de teoría. En otros casos, las prácticas están dirigidas a la enseñanza de destrezas de manera descontextualizada, como por ejemplo: i) utilizar equipos de medida (balanzas, cronómetros, dinamómetros, otros); ii) tomar datos y graficarlos; ó iii) seguir instrucciones con *experimentos tipo receta de cocina*. Por otra parte, generalmente, se solicitan informes del trabajo de laboratorio, los cuales tienen como función asignar una nota, cuyo porcentaje en la calificación final del período académico (trimestre) suele ser muy bajo; ya que la evaluación que tiene más peso se centra en pruebas de papel y lápiz.

En la enseñanza de la física del nivel universitario, encontramos que los cursos de laboratorio están desarticulados con los cursos teóricos. A veces, estos cursos de laboratorio están referidos a una miscelánea de temas de física, los cuales, no necesariamente, han sido estudiados previamente por los estudiantes en los cursos de teoría. El desarrollo de los TL en la mayoría de los casos, sigue el esquema tradicional de:

- i) *Prelaboratorio*. Actividad que realizan los estudiantes como tarea previa a la sesión presencial de laboratorio. Por lo general, se solicita el estudio de un contenido teórico.
- ii) *Laboratorio*. Suele iniciarse con una prueba de papel y lápiz basada en conocimientos teóricos; y después se siguen las instrucciones de la guía de laboratorio. En la mayoría de los casos revisados, éstas guías son bastante cerradas, es decir, los estudiantes no tienen oportunidad para tomar decisiones las hipótesis apropiadas para abordar el problema, el diseño experimental, la selección de instrumentos de medida, otras. Además, el tiempo asignado a la actividad, frecuentemente, no permite ni siquiera analizar el diseño que está establecido en la guía. Los estudiantes sólo alcanzan a tomar datos según la pautas pre-establecidas.
- iii) *Poslaboratorio*. La forma de desarrollarlo puede variar; en física, generalmente, se traduce en un informe que debe ser realizado como tarea y entregado para su calificación. En el mejor de los casos, este informe suele tener una estructura que aunque nominalmente se asemeja a la de un trabajo científico, en esencia su contenido resulta un conjunto de partes desarticuladas: A) Marco teórico: síntesis teórica de los tópicos del prelaboratorio. B) Datos: se reportan las medidas realizadas en el laboratorio, procesadas según lo indicado en la guía. C) Resultados: constituye el producto de los cálculos y transformaciones señaladas en la guía, sin relación con el marco teórico. D) Conclusiones: por lo general, son afirmaciones que no derivan del trabajo experimental, sino más bien de lo que suponen “debería dar”.

Además, por lo general los objetivos de aprendizaje esperados con los TL no están declarados. Sin embargo, se puede inferir por la forma en que son implementados en la enseñanza que el énfasis está, en general, centrado en lo instrumental.

Al reflexionar acerca de la realidad del trabajo de laboratorio en los cursos de física, surgen preguntas como: ¿Qué logros de aprendizaje de la disciplina alcanzan los

estudiantes con este tipo de trabajo de laboratorio? ¿En que medida esta metodología se corresponde con la actividad experimental en la ciencia? ¿La desaparición progresiva del trabajo de laboratorio de los cursos de física de enseñanza media (en Venezuela) estará relacionada con la respuesta a las preguntas anteriores? ¿Tiene sentido enseñar ciencia sin incluir la actividad experimental? ¿Existen aprendizajes que sólo pueden ser alcanzados con el trabajo de laboratorio? ¿Que tipo de trabajo de laboratorio promovería estos aprendizajes? Estas inquietudes constituyen la motivación principal del tema de tesis que se presenta en este informe, y cuya organización será descrita a continuación.

Compartimos el consenso de muchos autores en cuanto a que, la actividad de laboratorio en la enseñanza de la ciencia es necesaria e importante, dado que ésta resulta de una interrelación entre lo teórico y lo experimental. En tal sentido, encontramos diversas propuestas para los TL que enfatizan la necesidad de que se desarrollen como investigaciones, en donde se haga explícito el proceso del quehacer científico (Gil, Carrascosa y Mtnez-Torregosa, 1991; Hodson, 1994; Gil y Valdez, 1996). Sin embargo, en estas propuestas parece que no se aborda el problema de la mediación de los procesos de aprendizaje de dichos procesos. En tal sentido, hay necesidad de comprender teóricamente el proceso de aprendizaje durante la realización de los TL como investigaciones dirigidas. Por ello, el trabajo de investigación descrito en este documento está dirigido a la construcción de un marco referencial teórico acerca del aprendizaje durante el trabajo de laboratorio en la enseñanza de la física, en particular, en la carrera de Profesores de Física, y a su evaluación durante el desarrollo de un curso de laboratorio en dicho contexto.

La tesis desarrollada consiste en un intento de reconceptualizar el Trabajo de Laboratorio en la enseñanza de la física, tomando como referencia, la Teoría de Campos Conceptuales de Vergnaud (1990) y la epistemología de la ciencia enmarcada en las corrientes no estándar. El modelo desarrollado ha sido ensayado en el contexto de un curso de laboratorio en la carrera de profesores de Física de la Universidad Pedagógica Experimental Libertador-Instituto Pedagógico de Caracas, en Venezuela.

Este informe está estructurado en cuatro partes, relacionadas con los siguientes temas:

- a) La problemática, y la sistematización de resultados de investigación y de propuestas derivadas, producto de los estudios revisados en relación a los trabajos de laboratorio.

- b) El desarrollo de un marco conceptual que sirve de referencia para la construcción de un modelo sobre el proceso cognitivo subyacente en una nueva concepción del trabajo de laboratorio, visto como una actividad de la ciencia; y las preguntas de investigación que focalizan el trabajo de campo llevado a cabo.
- c) Los estudios y ensayos realizados.
- d) Las conclusiones generales derivadas de los ensayos, y las propuestas y producciones derivadas del trabajo.

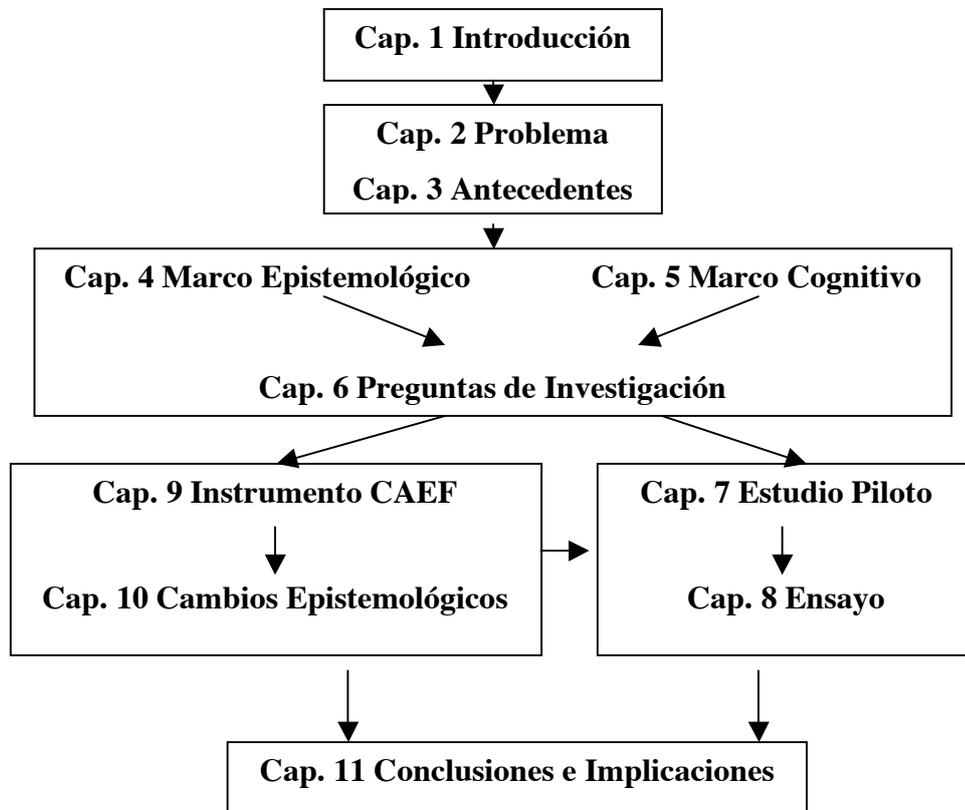
Cada área está organizada por capítulos (Figura 1-1); lo que se describe, brevemente, a continuación.

#### *Problemática y sistematización de estudios previos*

La primera parte, relativa a la problemática a abordar en la tesis y la sistematización de los resultados de investigación sobre los TL y las propuestas derivadas, se presentan en los capítulos dos y tres. En el capítulo dos se expone una descripción de la sintomatología observada en Venezuela en relación con los trabajos de laboratorio en la enseñanza de la física; ésta se contrasta con resultados de estudios internacionales que confirman problemáticas semejantes. A partir de lo cual se concretan los objetivos de la investigación que son justificados en el marco del desarrollo de nuevos conocimientos que permitan traducirse en propuestas para la mejora de la enseñanza de la física.

En el capítulo tres se sistematiza la revisión de las investigaciones publicadas en cuanto al trabajo de laboratorio en la enseñanza de la ciencia, y en particular, de la física. Este arqueo de fuentes ha sido organizado en cuatro secciones. La primera, se refiere a las diferentes actividades relacionadas con el laboratorio que son implementadas en la enseñanza de la física, y a la finalidad educativa para la cual han sido o pueden ser empleadas. El segundo aspecto aborda los estudios referidos al rol que dan los profesores a los trabajos de laboratorio en la enseñanza. Un tercer punto relacionado con el anterior, es el de la efectividad de los TL en la enseñanza de la física. Y por último, se aborda el tema de la evaluación del aprendizaje en relación con los trabajos de laboratorio.

**Figura 1-1.** Visión global de la estructura del contenido del presente informe



### *Marco conceptual de referencia*

La segunda parte de este informe está dirigida al desarrollo del marco teórico metodológico de referencia; el cual se expone en dos capítulos, el cuatro y el cinco. En el capítulo cuatro se presenta una disertación acerca de la actividad experimental en física como parte relevante del modo de producción de conocimientos en la física y desde las posiciones actuales de la filosofía de la ciencia. Con lo cual se caracteriza a la actividad experimental desde dos macrovisiones epistemológicas, la concepción estándar y la concepción no estándar (Andrés y Pesa, 2003). Esta caracterización permitió analizar las concepciones de los estudiantes acerca de la actividad experimental en la ciencia. Y además, diseñar y ejecutar una propuesta para el TL cercana a la concepción no estándar.

El capítulo cinco, por su parte, aborda la vertiente cognitiva del marco referencial de esta tesis. En este capítulo 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 el laboratorio de física. 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 e interdependencia tal como ocurre en la actividad de investigación científica; en ella se identifican tareas y subtareas de diversos tipos que demandan una variedad de conceptualizaciones para su ejecución. Se analizan e interpretan los procesos inherentes al desarrollo conceptual a la luz de la teoría de campos conceptuales, TCC, propuesta por Gérard Vergnaud (1998, 1990) (Moreira, 2004). Y en este contexto, se construye un modelo (MATLaF) para representar la dinámica cognitiva de los estudiantes, cuando se enfrentan a la resolución de situaciones problemáticas en el contexto de un laboratorio de Física básica. Tomando como base este referente se propone una metodología de investigación para hacer explícitos los esquemas activados y para la mediación didáctica.

Este marco conceptual permitió la formulación de un conjunto de preguntas de investigación que guiaron el trabajo de campo, las cuales son presentadas en el capítulo seis. En atención a la necesidad de precisar el rol del Trabajo de Laboratorio (TL) en la enseñanza de la física, y en consecuencia, de proponer una forma para desarrollarlos y evaluarlos, se ha planteado un conjunto de interrogantes acerca de la potencialidad del modelo MATLaF. En este sentido se distinguen tres líneas de indagación:

1. Concepciones que tienen los estudiantes acerca de la actividad experimental en la física
2. Desarrollo conceptual que tienen los estudiantes en relación a la actividad experimental en el aula
3. El Trabajo de Laboratorio según el modelo MATLaF y las orientaciones epistemológicas, como promotor del desarrollo conceptual (teórico, metodológico y epistemológico) del estudiante en el campo de la Física.

## *Estudios y ensayos de la investigación*

Los estudios y ensayos realizados con el fin de responder a las preguntas de investigación se describen en cuatro capítulos. Los capítulos siete y ocho se refieren al ensayo del modelo en el aula, y los capítulos nueve y diez están centrados en los estudios y resultados relativos a la vertiente epistemológica.

En el capítulo siete se describe el ensayo piloto dirigido a evaluar la potencialidad del modelo del proceso de desarrollo cognitivo descrito en el capítulo cinco (MATLaF) (Andrés y Pesa, 2003b) para comprender el aprendizaje en el trabajo de laboratorio, así como, la validación de la metodología de investigación propuesta para hacer explícitos los esquemas activados por los estudiantes al abordar una situación-problema experimental planteada. Este ensayo se efectúa con el primer trabajo de laboratorio de física del curso de Laboratorio III para la carrera de profesorado de física. Se describe el contexto del ensayo, las fuentes de información del estudio, el análisis de contenido de los textos y los resultados obtenidos. Y se cierra con la presentación de los invariantes operatorios tanto de orden teórico como metodológico asociados con el campo conceptual (oscilaciones armónicas) y algunos de los procesos de transformación conceptual ocurridos durante la acción didáctica (Andrés y Pesa, 2004).

En el capítulo ocho se reportan los resultados de un ensayo en el contexto de un curso de Laboratorio de la carrera de profesores de física en el Instituto Pedagógico de Caracas de la Universidad Pedagógica Experimental Libertador, Venezuela. En este ensayo, el trabajo de laboratorio (TL) es considerado como un espacio natural para el aprendizaje de los dominios metodológico y teórico, interrelacionados, y para el desarrollo de una visión acerca de la actividad experimental cónsona con las tendencias aceptadas por la comunidad científica. En atención a ello se aplicó el modelo MATLaF derivado de la Teoría de Campos Conceptuales (Vergnaud, 1990) para comprender y guiar el aprendizaje durante la ejecución de un TL (Capítulo 5). El cual se implementó siguiendo un plan general de acción para el TL que se derivó de la epistemología de la ciencia (Capítulos 4 y 5).

Del marco referencial teórico-metodológico asumido para el estudio de las concepciones acerca de la naturaleza de la ciencia *asociadas con la actividad experimental* (capítulo 4) surgió como necesidad la construcción de un instrumento. En

tal sentido, en el capítulo nueve se expone el diseño de dicho instrumento, denominado: CONCEPCIONES ACERCA DE LA ACTIVIDAD EXPERIMENTAL DE LA FÍSICA, CAEF. Del proceso de validación del mismo, se obtuvieron resultados en cuanto a las concepciones de un grupo de estudiantes universitarios de física y de profesores de física que se describen en el mismo capítulo nueve.

En el capítulo diez se da cuenta de la contribución que los TL del estudio piloto y del ensayo, tuvieron sobre las concepciones acerca de la actividad experimental de los participantes. Para ello se exponen los resultados de la aplicación del CAEF, antes y después del curso de Laboratorio III en el que estaban insertados ambos TL.

#### *Conclusiones generales derivadas de los ensayos e implicaciones para la enseñanza de la física*

Por último, en el capítulo once se integran las conclusiones del trabajo en atención a las preguntas de investigación expuestas en el capítulo seis. De ello se derivan algunas producciones del trabajo como son:

i) Una primera aproximación sobre el Campo Conceptual referido a los trabajos de laboratorio, lo que permitiría identificar el contenido de enseñanza para los cursos de laboratorio en el nivel universitario.

ii) Sugerencias para el desarrollo de una secuencia curricular de física en cuanto al eje experimental, derivadas del marco referencial de esta tesis, de los resultados encontrados y del Campo Conceptual establecido.

## **CAPÍTULO 2**

# **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

## CAPÍTULO 2

### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

A continuación será presentada una descripción general de la problemática observada en Venezuela, en relación con los Trabajos de Laboratorio en la enseñanza de la física, la cual según resultados de otros estudios internacionales confirma dificultades semejantes. A partir de ello y de un marco referencial considerado pertinente para comprender esta problemática, se concreta el problema de investigación y se plantean los primeros objetivos del estudio. Se justifica el trabajo en el marco del desarrollo de nuevos conocimientos que permitan traducirse en propuestas para el mejoramiento de la enseñanza de la física, en especial en el nivel universitario de formación de profesores.

#### 2.1 DESCRIPCIÓN DE LA SITUACIÓN PROBLEMÁTICA

Dentro del contexto de la enseñanza de la Física, en los centros educativos de Venezuela, en los niveles de Educación Básica, EB, (12 a 15 años) y de Educación Media Diversificada, EMD, (16 a 17 años), el desarrollo de los trabajos de laboratorio<sup>1</sup> cada vez es menos frecuente, a pesar de que la administración escolar tiene previsto en la distribución horaria de los cursos, casi un 50% del tiempo para la ejecución de las actividades de laboratorio; por ejemplo, en un curso del nivel de EMD están previstas cuatro horas semanales de física, de las cuales, dos son para el laboratorio; además, en esas dos horas el grupo de estudiantes se divide en dos subgrupos, con la finalidad de que el profesor atienda a grupos mas pequeños.

Algunas evidencias de que en la práctica se está suprimiendo el tiempo dedicado a las actividades experimentales en los cursos de física, en los niveles de EB y EMD, son:

1. El programa de la Olimpiada Venezolana de Física que se desarrolló durante once años, entre sus pruebas finales tenía lugar la realización de una prueba experimental. Esta consistía en la presentación de un problema cuya resolución demandaba actividades experimentales. Los jóvenes que participaban en el certamen

---

<sup>1</sup> Los TL son denominados Trabajos Prácticos en España

estaban culminando el tercer y último curso de física previo a la universidad (16-17 años). Este programa puso en evidencia que con escasas excepciones, los concursantes no habían realizado trabajos de laboratorio durante su formación en la educación media.

2. En los talleres de actualización para profesores de física en servicio ofrecidos por el CENAMEC<sup>2</sup>, la mayoría de los docentes manifiestan que no realizan trabajos experimentales, ni demostraciones en sus cursos. Los argumentos que señalan con más frecuencia son: falta de materiales de laboratorio; desconocimiento de los materiales y equipos que pudieran existir en el centro; falta de tiempo para diseñar y preparar las experiencias.

Sin lugar a dudas, que el argumento de falta de tiempo es una realidad, ya que el número de horas de clase por semana que atienden los profesores de física en Venezuela es muy alto; en promedio tienen unas 40 horas de clase, generalmente, en más de un centro educativo. En relación con los otros argumentos, no menos válidos que el anterior, se tiene que por un lado, en un alto porcentaje los docentes que enseñan física no tienen formación en la especialidad, por lo que no han adquirido las competencias relacionadas con la actividad experimental, lo cual puede explicar el desconocimiento de los equipos. Por otra parte, la falta de materiales adecuados para prácticas preestablecidas demanda de los docentes autonomía, creatividad, conocimientos y competencias relacionadas con el trabajo experimental; sin embargo, ni siquiera los docentes con formación en física parecen estar preparados para tales exigencias.

3. En un estudio sobre el modelo didáctico que emplean los docentes de ciencias de diferentes regiones del país (Andrés y Riestra, 1999), y concretamente en una muestra de 56 profesores de física, se identificaron contradicciones en cuanto al rol de la actividad de laboratorio. Por una parte, los resultados obtenidos con algunas preguntas de un cuestionario escrito indicaban que:

- i) Sus clases de física estaban basadas en: “los métodos experimentales, primero daban la clase teórica y luego realizaban el trabajo de laboratorio” (24%), “la aplicación del método científico” (22 %), o “el desarrollo de los procesos de la ciencia” (11 %).
- ii) Un 20% decía utilizar con frecuencia demostraciones y un 60 % trabajos de laboratorio.

---

<sup>2</sup> CENTRO NACIONAL PARA EL MEJORAMIENTO DE LA ENSEÑANZA DE LA CIENCIA

Mientras que por otro lado, en otra pregunta del mismo cuestionario, los mismos profesores expresaron que las actividades que realizaban con mayor frecuencia, en el tiempo y espacio asignado para los trabajos de laboratorio, eran:

- Exposiciones orales de contenidos del curso por parte de los estudiantes, un 54 %.
- Prácticas de laboratorio, un 38%.
- Discusión de resultados de trabajos de laboratorio, un 28%. Sin embargo, no señalaban si se referían a resultados obtenidos en sus propios trabajos prácticos o de experimentos realizados por otros.

Ambos resultados parecen mostrar contradicciones, ya que el porcentaje que dice hacer trabajos de laboratorio para enseñar física es más alto que el porcentaje que dice realizar esta actividad en el tiempo y ambiente de laboratorio.

En ese mismo estudio, posteriormente, se efectuó un observación (16 horas continuas, 1 mes) de las clases de cuatro de los profesores de física, de los cuales, sólo dos realizaron actividades relacionadas con el trabajo de laboratorio.

Derivado de los resultados del estudio anterior, pudiera pensarse que un factor que explica esta situación *de no ejecución de actividades de laboratorio*, es el alto porcentaje de profesores en servicio que no han sido formados como profesores de Física, ni en Física; y que tienen a su cargo la responsabilidad de enseñar esta asignatura (60 % en el estudio de Andrés y Riestra, 1999; y un 72 % en Vázquez, 1986). En la mayoría de los casos estos docentes están formados como profesores de matemática, los cuales en promedio sólo toman dos cursos de Física General y ninguno de laboratorio. Sin embargo, al comparar los resultados de los docentes con formación en la física con los de docentes que no están formados en el área, se observó un comportamiento semejante (Andrés y Riestra, 1999; Andrés, 2002), lo que parece descartar la hipótesis inicial.

Otro aspecto importante que pudiera estar relacionado con esta falta de dedicación de tiempo al trabajo de laboratorio en la enseñanza de la física, es la visión que tienen los docentes en servicio en relación con la función educativa del trabajo de laboratorio. En el estudio mencionado de Andrés y Riestra (1999) se encontró que los docentes que enseñan física expresaron como funciones principales, de las demostraciones (D) y del trabajo de laboratorio (TL), a las siguientes:

- “Comprobar hechos o teorías” (D:30 %; TL:65%)
- “Desarrollar la creatividad” (D:16 %; TL:13%)
- “Observar y describir hechos o fenómenos” (D:14%)
- “Aprender el manejo instrumental” (TL: 14 %)

Cabe destacar que la mayoría considera que el TL tiene como objetivo comprobar hechos o teorías. Subyacente a este fin está la idea de experimentos infalibles, es decir, que den los resultados esperados según el modelo explicativo seleccionado por el profesor, para lo cual es necesario contar con equipos de alta precisión y exactitud, algo que generalmente, no se tiene en los centros educativos.

Estos resultados se corresponden con los reportados en otros estudios a nivel internacional. Por ejemplo, Hodson (1994) a partir de un amplio espectro de razones para hacer actividades prácticas expresadas por profesores que participaron en un estudio realizado por Lynch (1987, citado en Hodson, 1994), estableció cinco categorías generales de propósitos:

1. Para motivar, mediante la estimulación del interés y la diversión.
2. Para enseñar las técnicas de laboratorio.
3. Para intensificar el aprendizaje de los conocimientos científicos.
4. Para proporcionar una idea sobre el método científico y desarrollar la habilidad en su utilización
5. Para desarrollar determinadas <<actitudes científicas>> tales como la consideración de las ideas y sugerencias de otras personas, la objetividad y la buena disposición para no emitir juicios apresurados.”(ibidem, p. 300)

Esta situación planteada en relación con los TL, al menos en Venezuela, puede ser vista desde dos grandes ejes problemáticos:

1. *Las actividades experimentales en la enseñanza de la física son pocas o nulas en el nivel de educación media.* Esta situación pudiera llevarnos a razones de tipo administrativo, como: la asignación de cargos a docentes sin formación en el área; la escasa dotación de los laboratorios en las instituciones educativas; el alto número de horas de clase por semana que administran los profesores de física, otros. Estos aspectos si bien son importantes, no serán considerados en este estudio.

2. *La ambigüedad en cuanto al rol que se le asigna a las actividades experimentales en el contexto educativo, y la metodología utilizada para su implementación.* Este punto pareciera estar relacionado con la visión epistemológica acerca de la naturaleza de la ciencia, y la visión de aprendizaje y enseñanza de la ciencia que tienen los docentes de física. Por lo que, resulta relevante analizar estos dos aspectos, sobre todo si consideramos al conocimiento profesional que poseen los docentes en servicio como conformado por un conocimiento aprendido durante su formación y un conocimiento vivencial adquirido como aprendiz de ciencia y como enseñante.

Un estudio con profesores de física en Venezuela (Andrés, 2002; 2003) donde se exploró su conocimiento profesional, y en el cual se incluyeron aspectos relativos a las ideas del profesorado acerca del trabajo de laboratorio, puso en evidencia que en relación con la ciencia, predominaban los docentes que comparten concepciones racionalistas con rasgos inductivistas acerca de ésta, y en relación a la ciencia que enseñan, la mayoría la conciben con rasgos constructivistas. Contradictoriamente, en la práctica de aula lo que se observó fue que los conocimientos son considerados por los docentes como verdades establecidas por los científicos, y expuestos como definiciones y fórmulas no cuestionables, sin contexto histórico-social, rasgos estos nada afines con el racionalismo, ni el constructivismo.

Específicamente, en lo relativo al trabajo de laboratorio en la enseñanza, los docentes del estudio (ibidem) manifestaron como relevante la enseñanza de los métodos de la ciencia, pero con una visión inductivista, lo que se traduce en una manera determinada de concebir las actividades experimentales en el aula que se caracteriza por la creencia de que las leyes son obtenidas por inducción de los datos. Sin embargo, durante la práctica de aula los docentes observados hicieron pocas actividades de laboratorio, en las cuales se enfatizaba en algunos procedimientos característicos del laboratorio, como: hacer medidas, organizar datos y hacer gráficos; pero aislados del fenómeno físico y sin significado para los estudiantes, por lo que la enseñanza estaba dirigida a destrezas y no a métodos de la ciencia.

Pareciera que los docentes de este estudio (ibidem) tienen un conocimiento que sólo logran declarar, acerca de la finalidad y estilos de enseñanza en el laboratorio que es próximo a la tendencia del aprendizaje por descubrimiento y al enfoque inductivista, que predominó en los currículos de ciencia de EB y EMD en Venezuela, durante los años 70, y de los cuales algunos aún están vigentes. Pero este conocimiento no se

corresponde con su acción en el aula, lo cual parece poner en evidencia una carencia en la formación inicial en cuanto a epistemología de la ciencia y al rol de las actividades experimentales en la construcción del conocimiento físico en la ciencia y en la enseñanza de la física.

Dado que el ejercicio profesional de los docentes depende en parte de su formación inicial, se ha considerado pertinente incluir algunos resultados de un análisis acerca de la formación de los docentes de física en la universidad UPEL-IPC<sup>3</sup>, efectuado por Andrés (2004). Del mismo se extrae que en el componente especializado de la carrera de profesor, en lo que se refiere a Física, hay cinco<sup>4</sup> cursos obligatorios relacionados con el laboratorio. Desde la perspectiva de la ciencia, hasta el año 2001, los programas de estos cursos de Laboratorio presentaban un fuerte énfasis en el inductivismo; por ejemplo, el curso de Física Experimental declaraba como objetivo general *introducir a los estudiantes en el método científico*, presentado éste como una secuencia de acciones que llevaban a la obtención de datos con lo cuales se obtenían leyes. Los contenidos de los otros cuatro cursos de laboratorio se expresaban en términos de prácticas específicas con temáticas en miscelánea; donde, en la mayoría de los casos el dominio teórico correspondiente a la práctica no había sido estudiado por los estudiantes en cursos teóricos previos, ni simultáneos. En consecuencia, estas prácticas se centraban en el aprendizaje de destrezas operativas e instrumentales, poco relacionados con la estructura teórica. Este tipo de laboratorio puede promover una visión acerca de la naturaleza de la ciencia poco afín con el quehacer científico actual.

A partir del año 2001, en dicha institución se introdujeron modificaciones en la secuencia de los cursos de laboratorio, una de ellas fue la reorganización desde el punto de vista temático, es decir, cada curso se contextualizó en un dominio teórico, el cual debe haber sido estudiado previamente en cursos teóricos. Otro de los cambios importantes fue la manera de desarrollar las prácticas de laboratorio, se pasó del esquema estructurado donde se sigue una guía de instrucciones, a un esquema que sigue la siguiente secuencia: seminario, ejecución del experimento, discusión de resultados, informe. En este esquema, aunque no se estructura completamente el trabajo de laboratorio, las preguntas a estudiar en cada práctica están preestablecidas y el

---

<sup>3</sup> Universidad Pedagógica Experimental Libertador-Instituto Pedagógico de Caracas, UPEL-IPC.

<sup>4</sup> Física experimental semestre I; Laboratorio I, II y III (semestres 4, 5, 6); Electrónica analógica (semestre 8)

experimento se presenta semi-diseñado. Pero, un aspecto crítico que no se ha superado, es que no hay espacio para la reflexión y toma de decisiones acerca del proceso de indagación. En consecuencia, nos preguntamos si estos cambios son suficientes para contribuir con el desarrollo de una concepción acerca de la actividad experimental cónsona con el quehacer de la ciencia, es decir, donde se considere al trabajo de laboratorio como parte de la dinámica de construcción del conocimiento físico, en interjuego permanente con el trabajo teórico. Por otra parte, los objetivos de aprendizaje esperados en los trabajos de laboratorio propuestos para cada uno de los cursos no están explícitos. Por lo cual, pareciera que continua la falta de precisión en relación con la finalidad educativa de estos trabajos.

Estos resultados locales, unidos a lo encontrado de la revisión acerca de los estudios realizados en torno al trabajo de laboratorio en la enseñanza de la física, nos lleva a identificar dos grandes tendencias al respecto:

i) *El trabajo de laboratorio en la enseñanza de la física visto como estrategia para enseñar contenidos teóricos a partir del descubrimiento de leyes.* Tal es el caso del aprendizaje por descubrimiento, donde se plantea que se *descubren* los conocimientos de la ciencia mediante la práctica de los procesos de ésta, lo que ocurre en el laboratorio; autores como Ausubel (1976) o Duit (1995) han considerado que esta propuesta, además de ineficiente, desvirtúa la esencia de la actividad científica. Por otra parte, muchos docentes consideran que el TL es para *verificar* los conocimientos teóricos, considerando a éstos como productos acabados y perfectos de la ciencia, lo que lleva a la noción de trabajos de laboratorio infalibles, de ahí que en el lenguaje cotidiano se denominan *prácticas que dan*. En estos casos, los estudiantes no indagan, sino que buscan datos que deben tener una correspondencia exacta con la teoría. Si bien parece existir consenso entre diversos autores (Seré, 2002; Duit, 1995; Hodson, 1994) en cuanto a que los TL no son muy recomendables como estrategia única para el aprendizaje del dominio teórico; ello no significa que la enseñanza de lo experimental sea una actividad aislada de la enseñanza de lo teórico; por el contrario, el aprendizaje que se produce en los dos ámbitos debe ser complementario, ya que la construcción del conocimiento científico es el resultado de una interrelación de, por un lado, teoría, ideas, modelos, y por el otro, evidencias, datos, experimentos.

ii) *El trabajo de laboratorio en la enseñanza de la física visto como estrategia para enseñar métodos*. Otra de las funciones frecuentemente asignadas a los TL, es la enseñanza de métodos, técnicas y procedimientos característicos del quehacer experimental, pero, generalmente, aislados del dominio teórico. La enseñanza ocurre en forma algorítmica, sin un contexto problemático desde la disciplina que promueva la indagación, la reflexión y la interacción entre los modelos y las evidencias.

Pareciera entonces, que hay necesidad de precisar una tendencia distinta para el trabajo de laboratorio en la enseñanza de la física en donde éste, sea visto como parte del contenido de física a enseñar. Desde las actuales tendencias epistemológicas, agrupadas en lo que se denomina la *concepción no estándar de la ciencia* (CNE) (Pesa, 2002; Abd-El Khalick, F y Lederman, N., 2000b), se ha caracterizado al dominio metodológico de la ciencia como parte relevante del proceso de construcción de conocimientos, en interacción indisoluble con el dominio teórico. Desde esta perspectiva, el método científico es visto como un conjunto de procedimientos perfectibles, a partir de los cuales se plantean problemas y se contrastan hipótesis, en el marco de alguna teoría; lo que como toda actividad humana, no garantiza la obtención de la verdad absoluta. En esta dirección encontramos diversas propuestas del TL como investigaciones (Gil y otros, 1991) o visto como *hacer otra vez el trabajo de la ciencia* (Sére, 2002), lo que también equivale a *aprender acerca de la ciencia* (Hodson, 1994), todos ellos intentando producir cambio metodológico y cambio conceptual en los estudiantes, e incidir en el desarrollo de una concepción de ciencia más acorde con el quehacer de ésta. En estas propuestas se guía el trabajo de laboratorio según los procesos característicos de indagación experimental de la ciencia.

Sin embargo, estos procesos tienen su propia complejidad conceptual, por lo que, así como se incluyen en la enseñanza cuerpos de contenidos derivados del dominio teórico de la física, diferenciados según el tipo de problemas que abordan; parece tener sentido considerar que el dominio metodológico, también tiene su propio cuerpo de conocimientos (conceptos, procedimientos, destrezas, valores, otros), al cual hemos denominado *dominio conceptual metodológico*. Estos conocimientos pueden ser identificados e incorporados de manera explícita a la enseñanza de la disciplina, en correspondencia con los contenidos propios del *dominio conceptual teórico*.

Este planteamiento convierte al TL en un contenido a enseñar que tiene características propias, por lo que la presencia de la actividad experimental en la enseñanza de la ciencia es ineludible. Este cuerpo de conocimientos y de actividades propias del quehacer experimental, plantea la necesidad de comprender cómo ocurre su aprendizaje en el ámbito del TL, con el fin de poder mediar estos procesos en la enseñanza. En esta dirección, requerimos de un referencial teórico relacionado con el aprendizaje, en particular, con el desarrollo cognitivo de los conocimientos relacionados con procesos del quehacer experimental como: reformular problemas, diseñar experimentos, medir, organizar y transformar datos, analizar datos, formular conclusiones, otros; en interacción con conocimientos relacionados con algún o algunos dominios teóricos.

Si consideramos los conocimientos del dominio conceptual metodológico, desde la Teoría de Campos Conceptuales de Vergnaud (1990), como conceptos conformados por conjuntos de: situaciones (referentes), invariantes operatorios (significados en acción) y representaciones simbólicas (significantes), los TL pueden contribuir con el desarrollo conceptual de los estudiantes.

En el contexto empírico descrito, y tomando en cuenta la perspectiva epistemológica (CNE) y la Teoría de Campos Conceptuales, nos planteamos la siguiente interrogante.

¿Cuál podría ser la orientación de los trabajos de laboratorio en la formación de Profesores de Física a fin de favorecer el desarrollo de una concepción epistemológica de la ciencia más próxima a la *concepción no estándar*, y sobre la base de un modelo dirigido a comprender el aprendizaje del dominio conceptual metodológico en interacción con el dominio conceptual teórico, en el trabajo de laboratorio, que se fundamenta en la Teoría de Campos Conceptuales?

Esta cuestión la hemos reformulado en términos de pregunta de investigación. La cual está desarrollada en los capítulos cuatro y cinco, y constituye el marco de referencia para el desarrollo de la experiencia de campo de esta tesis.

¿Qué fundamentos teóricos desde la perspectiva epistemológica denominada concepción no estándar de la ciencia, y desde una perspectiva cognitiva que considere el aprendizaje de lo metodológico como indisoluble de lo teórico, permitirían establecer

una conceptualización de los trabajos de laboratorio que sea viable para orientar la enseñanza?

En atención a esto nos planteamos los objetivos de investigación.

## 2.2 OBJETIVOS DE INVESTIGACIÓN

- Desarrollar un referencial teórico para describir la actividad experimental en la física desde la perspectiva epistemológica denominada *concepción no estándar de la ciencia* (Pesa, 2002; Abd-El Khalick, F y Lederman, N., 2000b).
- Desarrollar un modelo teórico que permite comprender el proceso de aprendizaje durante la realización de los Trabajos de Laboratorio en la enseñanza de la física como un proceso de desarrollo conceptual en el que el aprendizaje de los procedimientos ocurren de manera indisoluble del aprendizaje de los conceptos, tal como lo plantea la Teoría de Campos Conceptuales propuesta por Vergnaud (1990).
- Desarrollar un instrumento para el estudio de las concepciones acerca de la actividad experimental en física en estudiantes universitarios de habla hispana.
- Identificar las concepciones epistemológicas acerca de la actividad experimental en física que tienen estudiantes universitarios de física y de profesorado de física.
- Diseñar trabajos de laboratorio desde el referencial epistemológico y cognitivo establecido, para promover el desarrollo conceptual en los dominios teórico, metodológico y epistemológico, y ensayarlos en la carrera de profesores de física.
- Derivar de los resultados una propuesta para el currículo de la formación de los profesores de física en lo que concierne a la actividad de laboratorio, que sea consistente con el marco referencial epistemológico y cognitivo desarrollado.

## 2.3 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Desde tiempos remotos, el trabajo de laboratorio se considera una actividad importante en la educación. John Locke propuso hace 300 años que se incluyera en la educación disciplinar la actividad experimental, probablemente, influenciado por uno de sus maestros, Boyle (citado en Barberá y Valdés, 1996; Geymonat, 1998). En la

actualidad se podría afirmar sin riesgo a equivocarse que en todos los currícula de ciencia se incluye la actividad de laboratorio con más o menos énfasis. En lo que respecta a Venezuela, todos los cursos de ciencia en la enseñanza media tienen entre un 40% y 50% del tiempo asignado al laboratorio. En el nivel universitario, existen cursos de laboratorio en todos los currícula de formación de docentes de ciencias y por supuesto, en los de formación de científicos y de ingenieros. Internacionalmente, también se observa un gran énfasis en la actividad indagatoria en la enseñanza de la ciencia, lo que involucra actividades de laboratorio (AAPT, 1997; Sére, 2002).

En la actualidad, la investigación en enseñanza de la ciencia en cuanto a los trabajos de laboratorio ha sido planteada como una urgencia, y en este sentido, las revisiones que se encuentran sobre el área señalan la necesidad de establecer programas de investigación donde esté presentado de manera explícita el marco conceptual en el que se desarrollan y a partir del cual se delimite el problema de investigación con claridad y coherencia (Hodson, 1994; Lazarowitz y Tamir; 1994; Sére, 2000). Se trata entonces de implementar y evaluar los trabajos prácticos en la enseñanza de la ciencia apoyados en lineamientos que se guíen con una fundamentación consistente, y no sólo basados en creencias, intuiciones o ideas que parezcan plausibles.

En Venezuela es urgente definir el significado de los trabajos prácticos en la enseñanza de la física, tanto para el nivel de educación media como para la enseñanza universitaria, al menos en la formación de profesores de física. Hay que cambiar la tendencia de realizar trabajos de laboratorio centrados en aprender a seguir instrucciones, por trabajos de laboratorio en donde se pongan en evidencia distintas formas de interrelación teoría-experimento, y en donde, lo metodológico no sea presentado como un hacer instrumental de manera aislada y rutinaria, sino como un dominio conceptual cuyo aprendizaje permitirá desarrollar autonomía, y concepciones de ciencia enmarcadas en la corriente denominada como nueva filosofía de la ciencia.

Por último, el profesor de física requiere de un conocimiento profesional en la disciplina que debe incluir los aspectos epistemológicos. En tal sentido, los trabajos de laboratorio parecen ser el espacio más indicado para impactar sobre las concepciones que se tienen acerca de la actividad experimental en la física, y en general, acerca de la naturaleza de la ciencia (Sére, 2002). Por ello es necesario establecer una conceptualización de los TL en la enseñanza que considere tanto lo epistemológico

como lo cognitivo, para así desarrollar propuestas curriculares y didácticas derivadas de dicho referencial.

## **CAPÍTULO 3**

# **SISTEMATIZACIÓN DE RESULTADOS DE INVESTIGACIÓN EN RELACIÓN CON LOS TRABAJOS DE LABORATORIO**

## **CAPÍTULO 3**

### **SISTEMATIZACIÓN DE RESULTADOS DE INVESTIGACIÓN EN RELACIÓN CON LOS TRABAJOS DE LABORATORIO**

#### **3.1 INTRODUCCIÓN**

La síntesis acerca de los resultados de las investigaciones que hemos tenido oportunidad de revisar en relación con los Trabajos de Laboratorio, TL, o Trabajos Prácticos, ha sido organizada en cuatro secciones. La primera se refiere a las diferentes actividades relacionadas con el laboratorio que, normalmente, son implementadas en la enseñanza de la física y la finalidad educativa para la cual pueden ser empleadas. El segundo aspecto aborda los estudios referidos al uso que le dan los profesores a los trabajos de laboratorio en la enseñanza. Un tercer punto relacionado con el anterior, es el de la efectividad de los TL en la enseñanza de la física en atención al aprendizaje que alcanzan los estudiantes. Y por último, la evaluación del aprendizaje en relación con los trabajos de laboratorio.

#### **3.2 LAS ACTIVIDADES DE LABORATORIO EN LA ENSEÑANZA DE LA FÍSICA**

Al hablar de trabajo de laboratorio, seguramente, que diferentes docentes generarán diferentes representaciones del mismo. Con el fin de explicitar los significados que le asignaremos al TL, se iniciará la exposición respondiendo a la pregunta ¿Qué entendemos por trabajo de laboratorio en el marco de la enseñanza de la ciencia, y en particular, de la Física?

En este contexto se considera como actividad de laboratorio, a aquellas actividades que involucran el *contacto* con los objetos y fenómenos que son representados por conceptos y modelos de la disciplina que la dan significado al mundo de los objetos. De acuerdo a cómo se orienten estas actividades, se pueden establecer diferentes formas de tarea de laboratorio. Tradicionalmente, se distinguen dos, las demostraciones y los trabajos propiamente de laboratorio o experimentales, TL. Las primeras, por lo general, se desarrollan en el marco de las clases de teoría, y casi siempre se limitan a ilustrar con situaciones reales algún contenido de la clase. Los

segundos tienen su propio tiempo y espacio en el aula, y generalmente, son experimentos, es decir, fenómenos intencionalmente creados con la finalidad de estudiar alguna relación entre variables, determinar alguna propiedad o constante física, contrastar algún modelo físico, otros.

Desde el punto de vista de la administración educativa, al menos en Venezuela, se pueden identificar dos modalidades de TL, la que ubica los trabajos de laboratorio en cursos específicos separados de los cursos de teoría la cual, generalmente, se observa en el nivel de educación superior, y la que integra en un mismo curso diferentes situaciones de clase, distribuyendo el tiempo semanal entre: clase de teoría, demostraciones, trabajo de laboratorio y resolución de problemas, o combinaciones de estas cuatro actividades; esta última orientación está presente en los cursos de física en el nivel de educación secundaria. Gott y Duggan (1996) reportan que los trabajos prácticos en la educación en ciencias datan de 1850, presentados como demostraciones. En la actualidad, encontramos que en la mayoría de los sistemas educativos, se incluye la actividad de laboratorio en el área de ciencia.

Cabe entonces preguntarse ¿a qué se debe la presencia del trabajo de laboratorio en los cursos de ciencia? En este sentido, autores como Barberá y Valdés (1996), Lazarowich y Tamir (1994) ó Hodson (1994), en sus revisiones acerca de investigaciones relacionadas con los trabajos de laboratorio concuerdan en que no se tienen resultados concluyentes en relación con el rol que desempeñan los TL en la enseñanza, lo cual no significa que éste no sea efectivo, ni necesario. Estos autores son bastante críticos con respecto a las investigaciones revisadas; en particular, Barberá y Valdés (1996) señalan que sin duda su conclusión se debe a que éste es un problema de investigación complejo, “pero también a que muchas de las investigaciones realizadas están deficientemente estructuradas y sus resultados carecen de fiabilidad” (p. 373) En muchas hay carencia de precisión en cuanto al tipo de trabajo de laboratorio, los objetivos educativos, el nivel educativo, otros. A pesar de ello, estos tres grupos de autores coinciden en la necesidad de establecer programas de investigación relativos a esta línea en los que esté explícito el marco conceptual sobre el cual se desarrollan y se delimite el problema de investigación con claridad y coherencia.

La finalidad educativa que se le ha asignado al trabajo de laboratorio es muy diversa; dependiendo de la concepción de aprendizaje y/o de la visión acerca de la

naturaleza de la ciencia, varía la manera de desarrollar el TL y la intención para la cual se lleva a cabo.

Las *demonstraciones*, muy conocidas en la enseñanza de la física, son una forma de actividad experimental que tradicionalmente se realiza en el contexto de una clase teórica para ilustrar los conceptos en estudio. Casi siempre, la experiencia es efectuada por el profesor y observada por los estudiantes. Este tipo de actividad práctica, según Ausubel (1976), está dirigido a observar directamente los objetos y acontecimientos. El desarrollo de estas actividades ha ido tomando diferentes maneras, por ejemplo, pueden ser presentadas fuera del contexto de un curso de contenido específico con la finalidad de motivar y proporcionar vivencias a los estudiantes (Figueroa, Gutiérrez y Andrés, 1994). Hoy en día, las demostraciones tienen un rol importante en la enseñanza, sobre todo en los niveles de primaria; como plantea Duit (1995), ellas permiten que los niños adquieran experiencia a través del contacto con la realidad, de forma tal que sus representaciones mentales sean más elaboradas; además, permiten explorar las ideas de los estudiantes o contrastar sus ideas con la evidencia empírica, para tomar conciencia de determinados fenómenos (Woolnough y Allsop, 1985, citado en Barberá y Valdés, 1994; Kirschner, 1992). En la medida en que el estudiante tome un rol más activo frente a la demostración, interaccionando con el fenómeno, construyendo y reconstruyendo sus ideas, éstas pueden ser más efectivas para el aprendizaje de la ciencia. La selección de demostraciones que retengan a la intuición de los estudiantes, es un aspecto clave para este tipo de experiencias (Figueroa, Andrés y Gutiérrez, 1999).

La orientación de *trabajo de laboratorio* que tradicionalmente ha estado presente en la enseñanza de la ciencia, consiste en una actividad centrada en la recolección de datos y la obtención de un producto que, por lo general, no tiene discusión. Los estudiantes tienen *contacto* con el mundo de los objetos (experimento) de manera poco significativa. Generalmente, no saben por qué y para qué están haciendo lo que se señala en las guías de laboratorio que les da el profesor o están en el libro de prácticas. El tiempo que los estudiantes dedican a la planificación de la experiencia y al análisis de los resultados es nulo o mucho menor que el dedicado a realizar mediciones (Lazarowich y Tamir, 1994). Esta forma de realizar el trabajo de laboratorio es muy común en los centros educativos, en todos sus niveles; además, para ello encontramos numerosos libros de laboratorio que contienen *prácticas* preestablecidas, que obligan a las instituciones a tener una dotación instrumental específica y a los estudiantes a

estudiar el fenómeno de una manera determinada. La finalidad educativa de este tipo de trabajo de laboratorio es desde la perspectiva del docente, fundamentalmente, para “verificar los conocimientos teóricos”, “aprender a manipular instrumentos”, “adquirir destrezas de medición”, “aprender a obtener resultados correctos” (Tobin y otros, 1994, p. 51).

Otra manera de llevar a cabo el trabajo de laboratorio consiste en plantear *situaciones abiertas*, modalidad que puede tener diferentes intenciones según la visión de aprendizaje o concepción acerca de la ciencia que se quiera evidenciar. Por ejemplo, con estos problemas abiertos se puede esperar que los estudiantes *descubran* básicamente el comportamiento de la naturaleza y aprendan los procesos característicos de la ciencia, como: observar, clasificar las observaciones, identificar regularidades, sugerir y evaluar explicaciones, diseñar y realizar experimentos. Estas experiencias se enmarcaron en las corrientes de aprendizaje por descubrimiento, a partir de las cuales se elaboraron diversos currícula de enseñanza de la ciencia en las décadas de los 70 y 80, como el BSCS, el PSSC, el CHEM Study y el Nuffield. Estos programas, ampliamente difundidos en el mundo occidental, estaban centrados en el aprendizaje de los procesos de la ciencia siendo para ello el trabajo de laboratorio la principal estrategia de enseñanza.

Si bien pareciera existir consenso en que este tipo de trabajo práctico es recomendable en los primeros niveles de educación (primaria), dado que los niños están en la etapa de desarrollo cognitivo operacional concreto, no parece ser muy eficiente en los niveles educativos superiores. Por otra parte, aprender los procesos de la ciencia de manera aislada de su cuerpo conceptual no es consistente con la actividad científica, y puede propiciar en los estudiantes el desarrollo de una visión inductivista acerca de la construcción y desarrollo de las teorías científicas. Ausubel (1976) ha sido un crítico fuerte del trabajo práctico centrado en el descubrimiento; este autor argumenta que no es necesario descubrir en forma autónoma los métodos, ni los productos de la ciencia para aprender acerca de ella. Además, considera que esta forma de aprendizaje demanda mucho tiempo y se corre el riesgo de que las situaciones resulten tan abiertas que los estudiantes terminan por no descubrir nada. Por otra parte, Ausubel (*ibidem*) considera que aprender las ideas de la ciencia incluye sus métodos, razón por la cual, no concibe el aprendizaje de los procesos de la ciencia separado del aprendizaje de su contenido conceptual (aprendizaje por recepción).

Desde una perspectiva constructivista, Duit (1995) plantea que el experimento debe mirarse con cuidado en el proceso de aprendizaje de la ciencia, critica las propuestas derivadas del aprendizaje por descubrimiento señalando que los conocimientos no se descubren, se construyen mediante una relación dialéctica entre las concepciones y las percepciones, y defiende el trabajo de laboratorio mediante situaciones problematizadas. Este autor valora la experiencia porque permite la *actividad*, sobre todo la mental, y promueve la indagación entre los estudiantes. El rol de la investigación como actividad de aprendizaje conlleva a la construcción del conocimiento simultáneamente con el aprendizaje de la naturaleza de la ciencia.

Autores como Gil y otros (1991) han propuesto los trabajos prácticos basados en problemas abiertos en analogía a la investigación científica, intentando producir cambio metodológico y cambio conceptual en los estudiantes. El énfasis está en la metodología científica ligada de manera indisoluble a los marcos conceptuales en los que se inserta el trabajo práctico. Este enfoque se contrapone a las tradicionales prácticas de laboratorio centradas en una concepción inductivista y dirigida al aprendizaje exclusivo de destrezas científicas. Las secuencias didácticas propuestas para el desarrollo de los TL como investigaciones se orientan en atención a los modos de producción de conocimientos de la ciencia en el dominio teórico del problema, convirtiendo el trabajo de aula en un espacio de investigación científica (ibidem; Salinas, 1994; Gil y Valdés, 1996)

Por otro lado, un grupo de investigación centrado en los TL de varios países de Europa, coordinado por Sére (2002), plantea que desde la perspectiva del aprendizaje conceptual y para el nivel educativo de 16 a 20 años, se pueden establecer dos tendencias en cuanto a los TL: i) aprender teoría desde el mundo de los fenómenos, ó ii) usar conocimientos teóricos en tareas de laboratorio de tipo indagatorio. El primer énfasis parece ser el más común, este grupo plantea que si bien los procesos intelectuales involucrados al pasar del mundo de los fenómenos al mundo de las ideas han sido descritos teóricamente, hay pocos estudios en los que se compare el aprendizaje de conocimientos teóricos con y sin actividad de laboratorio.

La segunda tendencia planteada por el grupo de Sére (2002), considera el TL bajo el enfoque de: *usar conocimientos teóricos en tareas de laboratorio de tipo indagatorio o la teoría puede ayudar a aprender a hacer*, es vista por ellos como inversa a la anterior. Además, esta sustentada en la idea de que el mundo de los objetos y el mundo

de las ideas son indisolubles, y en consecuencia, en el TL el mundo de las ideas debe estar presente en los diferentes momentos de la actividad para: entender qué percibir, qué hacer, qué medir, darle significado a los datos, otros. Lo que generalmente sucede, es que los momentos de interrelación entre la teoría y la situación concreta son obviados en la enseñanza que se realiza en el laboratorio.

La American Association of Physics Teachers (AAPT) presentó un artículo (1997) en el cual ratifica la importancia del TL en el estudio de la física, pero a su vez demanda la necesidad de introducir cambios en la enseñanza realizada en el laboratorio de los cursos introductorios en la universidad. Para ello propone un conjunto de metas para la enseñanza en el laboratorio:

I *El arte de la experimentación* (proporcionar experiencias significativas que incluyan el diseño de experimentos vistos como investigaciones). Se diferencia entre las demostraciones, los ejercicios de laboratorio y los experimentos de laboratorio; siendo éstos últimos los que sugieren para los cursos de laboratorio, los cuales estarían dirigidos a permitir que los estudiantes aprendan a tomar decisiones en cuanto al diseño y conducción del experimento, y reconozcan cómo los productos a obtener dependen de estas decisiones.

II. *Destrezas experimentales y analíticas*. La AAPT considera inminente aprender las destrezas básicas y las herramientas de la física experimental y del análisis de datos. Sin embargo, en virtud de la gran cantidad de destrezas existentes plantea la necesidad de precisar el objetivo de aprendizaje en cada TL en atención al problema y a los equipos que se disponga. Entre los tópicos que considera fundamentales, están: manejo de sistemas mecánicos, eléctricos, térmicos, y ópticos; análisis de datos con diferentes grados de sofisticación, desde lo cualitativo hasta lo cuantitativo; formas de representación (gráficos, matemáticas) y transformación de los datos y sus relaciones; comprensión de las incertidumbres asociadas a las medidas, y a su vez, comprensión de las limitaciones de los procesos medidas.

III. *Aprendizaje conceptual*. Si bien la AAPT diferencia los experimentos de aquellas experiencias en donde se interacciona con el fenómeno para el aprendizaje de conceptos, no descarta que los experimentos propuestos como indagaciones, ayudan a los estudiantes en el dominio de los conceptos, complementando el aprendizaje que han adquirido mediante las clases de teoría, las demostraciones o la resolución de problemas.

IV. *Comprendiendo el conocimiento base de la física.* La propuesta esta dirigida a poner en evidencia la interrelación entre conceptos, hipótesis, teorías, y observaciones, y la dificultad en separar las inferencias basadas en la teoría de las derivadas de los datos. Es necesario que los estudiantes establezcan la relación entre la experiencia concreta y las teorías científicas mediante los trabajos de laboratorio.

V. *Desarrollo de destrezas de aprendizaje colaborativo.* La AAPT considera fundamental para la vida, el desarrollo de destrezas complejas de interacción social y de resolución de problemas en equipo, para lo cual, propone que el trabajo de laboratorio en pequeños grupos colaborativos de calidad, es una alternativa importante, dentro de la educación.

Las metas planteadas por la AAPT no difieren de las propuestas por otros autores; en general, parece existir consenso en cuanto a la importancia de que los TL sean experimentos de indagación, en donde, la interrelación teoría-experimento sea evidente, y los aspectos de orden metodológico propios del laboratorio adquieran significado, en el marco de modelos teóricos asumidos o construidos.

Gott y Duggan (1996) plantean la necesidad de definir el propósito del TL. Consideran que el desarrollo de destrezas experimentales es el propósito más legítimo, sin embargo, esto requiere de una reconceptualización. En este sentido, consideran que las destrezas constituyen un conocimiento base propio que está directa y necesariamente conectado con la comprensión de la evidencia científica, lo que a su vez se relaciona con un conocimiento base teórico. Este conocimiento base referido a la evidencia está asociado con el diseño de experimentos, la medición y el manejo de datos; y subyacente a éstas tres competencias están los conceptos de confiabilidad y validez. En atención a cómo enseñar este conocimiento consideran que lo mas importante es la selección del TL en atención al propósito específico que se tenga en mente, lo que además permitiría evaluar su eficiencia y efectividad.

### **3.3 ROL DEL TRABAJO DE LABORATORIO DESDE LA PERSPECTIVA DE LOS PROFESORES**

En la sección anterior se mostró cómo el TL puede tener diferentes enfoques y roles o propósitos en la enseñanza de la ciencia. En el contexto educativo se han realizado diversos estudios en cuanto a las razones para realizar trabajos de laboratorio en la enseñanza de la ciencia en opinión de los docentes.

En un estudio de los años 60 (Kerr,1963, citado en Barberá y Valdés, 1994) los profesores consideraron que el trabajo de laboratorio estaba dirigido a:

- i) Motivar a los jóvenes a estudiar ciencia,
- ii) Desarrollar en los mayores, la capacidad para aprender ciencia en estudios superiores,
- iii) Desarrollar destrezas manipulativas,
- iv) Recoger datos y hechos para descubrir principios.

En contraste, los estudiantes de estos profesores sólo perciben el trabajo de laboratorio como útil para tomar contacto con la realidad y promover el interés por la ciencia (ibidem).

Por su parte, como se refirió en el capítulo anterior (pp.4-5) Hodson (1994) estableció cinco categorías generales de razones para llevar a cabo TL, derivadas de opiniones de los docentes.

Otro estudio sobre los propósitos de las actividades prácticas es el de Gott y Duggan (1996). Estos autores analizaron los contenidos de un programa de estudio típico del Reino Unido y agruparon los fines de los TL en las tres áreas siguientes:

- Aspectos motivacionales
- Aplicación de conocimiento teórico
- Desarrollo de destrezas experimentales.

Como se puede notar las tres áreas resumidas coinciden con las declaraciones encontradas en los estudios con los docentes.

En un estudio de Andrés y Riestra (1999), realizado con 193 profesores de ciencias de diferentes regiones de Venezuela y tipos de instituciones educativas

(oficiales y privadas), se encontró que los propósitos educativos de los TL, expresados por los docentes eran:

- Verificar los conceptos y leyes (30%)
- Practicar destrezas experimentales, manejo de instrumentos y procesos de la ciencia (15%)
- Ilustrar los conceptos teóricos (11%)
- Reforzar los conocimientos teóricos (9%)
- Aplicar y comprender los conocimientos teóricos (8%).

Estos resultados, ponen en evidencia que la opinión de los docentes de ciencia en Venezuela, no difiere de la de los docentes de otros países, según los autores citados anteriormente.

### **3.4 EFECTIVIDAD DEL TRABAJO DE LABORATORIO**

En los diferentes estudios realizados en relación con la finalidad educativa de los trabajos de laboratorio se observa que a pesar de la poca presencia de la actividad experimental en muchos cursos de física, a este tipo de actividad los docentes le asignan una gran cantidad de objetivos de aprendizaje, pero con poca fundamentación teórica y experimental. Los estudios revisados en relación con la efectividad de los trabajos de laboratorio en función de cada uno de estos fines no han resultado muy favorecedores. Hodson (1994) analiza los resultados según las cinco categorías descritas anteriormente y concluye que (se complementan las conclusiones del autor con otros aportes):

1. En cuanto a la motivación que este tipo de trabajo genera, si bien es cierto que los reportes muestran que las estudiantes se entusiasman y se divierten realizando los trabajos prácticos, aquella disminuye con la edad (Lynch y Ndyetabura, 1984, citado en Hodson, 1994).

Por otra parte, no se puede concluir que el entusiasmo se deba al trabajo de laboratorio en sí mismo, tal vez, esté más relacionado con el clima que se genera en el laboratorio, en sentido rogeriano. Esta actividad permite mayor movilidad e interacción entre pares, con un ambiente menos rígido de trabajo que el de otras sesiones de clase como las expositivas o de resolución de problemas Sería necesario estudiar más en

profundidad el nivel de desafío cognitivo que la actividad de TL está planteándole a cada estudiante en relación con su entusiasmo.

Por otra parte, incidir en el interés o motivación por la ciencia de los estudiantes no debe ser un propósito exclusivo de los TL, sino que debe formar parte inherente a toda las actividades de enseñanza que se lleven a cabo, con el fin de promover una disposición favorable para el aprendizaje.

2. El trabajo práctico dirigido al aprendizaje de técnicas de laboratorio, puede referirse a dos tipos de habilidades: las habilidades generales, libres de contexto; y las habilidades específicas. En relación con las primeras, existen estudios que reportan la poca transferencia a otras áreas escolares y menos aún a la vida diaria. Entre las habilidades propias de la disciplina, se pueden distinguir las que son necesarias para estudios superiores y las que son necesarias para el campo de la ciencia (Hodson, 1994); en cualquiera de los dos casos, este objetivo debe estar en función del nivel educativo y de la finalidad educativa global de cada uno de ellos, enseñar ciencia en la escuela es diferente a enseñar en la enseñanza media, o en la formación de docentes, ingenieros o científicos. Por lo tanto la evaluación en función de estos aspectos debe partir de una clarificación del tipo de habilidad que se espera enseñar. Por otra parte, White (1996) plantea que el aprendizaje de técnicas específicas como el uso del microscopio, osciloscopio u otros, solo es posible en el laboratorio con situaciones concretas; igualmente ocurre con aprender a medir y concebir los datos como rangos de valores debido a la incerteza inherente, a diseñar experimentos ó a resolver problemas científicos.

3. En cuanto al aprendizaje de conocimientos del dominio teórico de la ciencia a través del trabajo del laboratorio, es difícil emitir conclusiones. Autores como Ausubel (1976) plantean que no es necesario realizar TL con este objetivo porque se puede lograr mas eficiencia mediante el aprendizaje significativo por recepción. Por otra parte, pensar en un aprendizaje de éstos conocimientos sólo a través del trabajo de laboratorio, como lo plantean los que abogan por el aprendizaje por descubrimiento, sería contribuir con la enseñanza de la ciencia a la formación de una visión empírica de la ciencia.

Hay estudios como el de Lapointe y otros (1992) referido por Gott y Duggan (1996) realizado con niños de 13 años de 20 países, en el que no encontraron relación entre aprendizaje de conceptos y haber o no realizado trabajos prácticos. Igualmente Sére

(2002) reporta que no hay suficientes estudios concluyentes en cuanto a la efectividad del trabajo de laboratorio para el aprendizaje de la teoría.

4. Hoy en día sabemos que es un mito pensar que podemos hacer ciencia con un método, el método científico, por lo cual, no tiene sentido dirigir el trabajo de laboratorio hacia el aprendizaje de ese método y menos aún, hacerlo como si éste fuera una receta. El resultado de este tipo de trabajo de laboratorio, además de ineficiente, es inadecuado por la visión que desarrollan los estudiantes en cuanto a la naturaleza de la ciencia.

Lamentablemente, la mayoría de los trabajos de laboratorio tipo receta promueven esta visión de método único e infalible.

5. En relación con el desarrollo de actitudes científicas, en primer lugar cabe preguntarse ¿a qué actitudes científicas nos referimos? ya que estas dependerán de la visión epistemológica que se considere.

La mayoría de los estudios sobre actitudes científicas y su relación con otras variables se han dirigido a dimensiones escolares globales, en una revisión realizada sobre estudios acerca de actitudes hacia la ciencia, actitudes científicas e interés hacia la ciencia no se encontraron artículos que específicamente relacionaran el trabajo de laboratorio y sus diversas modalidades con el desarrollo de las actitudes científicas (Andrés, 2000).

### **3.5 EL TRABAJO DEL LABORATORIO SEGÚN EL NIVEL EDUCATIVO**

Otro aspecto a considerar que ya ha sido comentado anteriormente en la exposición pero que vale la pena concretar, es el referente al trabajo de laboratorio según los diferentes niveles educativos y especialidades. En el nivel de la escuela elemental parece existir consenso entre diferentes autores (Ausubel, 1976; Novak y Gowin, 1984; Duit, 1995; Pujol, 1994) en cuanto a que las actividades prácticas son útiles para tomar conciencia de los fenómenos, y explorar y contrastar las ideas de los niños con la realidad que representan, así como para la formación de conceptos.

En el nivel educación media, entre los 12 y 17 años, cuando se introduce formalmente la enseñanza de la ciencia, por disciplinas, el rol del trabajo de laboratorio cambia y la forma de realizarlo también. El aprendizaje por descubrimiento, ha sido

cuestionado pues puede influir en el desarrollo de una visión de la naturaleza de la ciencia distorsionada. Izquierdo y otros (1999) hablan de la *ciencia escolar*, partiendo de la concepción de ciencia como actividad humana compleja; plantean que el aprendizaje de la ciencia (construcción de conocimientos) debe ser entonces concebida como una actividad humana y para ello la meta, el método y el campo de aplicaciones deben ser adecuados al contexto escolar. Así, estos autores (ibidem) proponen que: i) se deben restringir los *hechos científicos* a aquellos que puedan ser discutidos y contruidos en el marco de los modelos teóricos previstos en los currícula; ii) el *método* no implique la ejecución del experimento, tal como ocurre en las ciencias, por diversas razones como, limitaciones de equipo, complejidad del equipo o de las teorías científicas; en estos casos, discutir sobre los experimentos científicos realizados por otros, reconstruir las transformaciones de los datos y reflexionar sobre sus resultados y conclusiones, puede ser más significativo que hacer un experimento en el cual no tengan sentido las actuaciones que se ejecuten. En resumen, los autores conciben los TL en el contexto de un modelo de enseñanza que denominan *autónomo* o de *hacer ciencia escolar*

En el nivel de formación profesional (técnico o universitario) los trabajos de laboratorio de física de los primeros años de formación, pueden tener metas comunes que derivan del aprender física, y sobre las cuales se ha hablado en las secciones anteriores. Sin embargo, dependiendo del futuro rol profesional de los estudiantes los trabajos de laboratorio pueden estar contextualizados de manera diferente, o tener demandas específicas propias del hacer de dicho profesional. Así, en la formación de científicos las actividades de laboratorio deben también tener como propósito el aprender a *hacer ciencia* en el sentido en que lo plantea Hodson (1994). En la formación de ingenieros, los trabajos de laboratorio deberían partir de situaciones problema con *sabor* a ingeniería cuya solución requiera del conocimiento de la física y promueva el logro de las metas establecidas para el laboratorio (Kirpup y otros, 1998).

Dentro del sector de formación de otros profesionales como los profesores de ciencia, cuyo campo laboral les exige enseñar ciencia, se tienen demandas diferentes. Al respecto de la formación de los profesores de ciencia, surgen algunas preguntas ¿qué deberían aprender en relación a la ciencia estos profesionales?; en términos de Hodson (1994), podríamos preguntarnos, los docentes: ¿Deberían *aprender de la ciencia*? ¿Deberían *aprender a hacer ciencia*? o ¿Deberían aprender *sobre la naturaleza de la*

*ciencia* ?. Además, por la complejidad que hemos visto tienen los trabajos de laboratorio en la enseñanza de la física, surge otra cuestión adicional, propia de la docencia: ¿Deberían los docentes *aprender a enseñar ciencia en el contexto educativo*? Pareciera que todas estas preguntas tienen una respuesta afirmativa y que estos aprendizajes no pueden ser excluyentes, de lo cual surgen otras preguntas: ¿Cómo formar a los docentes en relación a los trabajos de laboratorio en el contexto de la física? ¿Qué marcos referenciales favorecen la integración entre la epistemología, el aprendizaje y la enseñanza en relación con los trabajos de laboratorio? Estas son preguntas abiertas que en cierta medida han sido abordadas en esta tesis.

### **3.6 LOS TRABAJOS DE LABORATORIO Y LA EVALUACIÓN DEL APRENDIZAJE QUE PROMUEVEN**

Un factor importante en el aprendizaje, y en particular, en el aprendizaje de la ciencia es la evaluación que se lleva a cabo. En relación con los trabajos prácticos, cuando son realizados en el marco de un curso que incluye diferentes tipos de actividades de enseñanza (exposiciones, resolución de problemas, trabajos de laboratorio, otros) se observa que los TL son prácticamente ignorados en las actividades de evaluación que se practican en las aulas, lo cual contribuye a que los estudiantes menosprecien este tipo de trabajo y consideren que la inversión de tiempo es una pérdida.

Por otra parte, la evaluación del aprendizaje adquirido con los trabajos prácticos no puede realizarse con pruebas de papel y lápiz, ya que son en esencia dos tareas diferentes, este tipo de práctica puede tener su origen en la visión del TL como medio para enseñar teoría. De un estudio realizado en seis países por Tamir y Doran (1992, citados en Lazarowich y Tamir, 1994) en el que se aplicaron dos tipos de pruebas: una prueba de papel y lápiz que incluían ítem referidos a contenido e ítem referidos a procesos experimentales, y otra prueba práctica que incluía los mismos procesos de la anterior; encontraron que los resultados obtenidos en ambos tipos de pruebas no eran consistentes entre sí.

Pareciera entonces que hay necesidad de diseñar formas de evaluación ad hoc para el trabajo práctico consistentes con el tipo de actividad y con las metas que se pretende alcanzar con cada laboratorio. Algunas experiencias en este sentido han sido

desarrolladas en diferentes países, por ejemplo, se puede mencionar la evaluación a través de los denominados portafolios, donde cada estudiante va acumulando sus trabajos y anotaciones, y sobre los cuales reflexiona en función de las metas de aprendizaje explícitas. También se ha ensayado la evaluación progresiva, mediante observaciones por parte del docente, de las ejecuciones de los estudiantes durante el desarrollo del TL. En cualquier caso, la evaluación debe estar en función de los objetivos de aprendizaje y difiere de la evaluación del aprendizaje que no implica actividad práctica.

Los cuatro aspectos considerados para la revisión de las investigaciones no pretende agotar todos los estudios que existen en torno a los trabajos de laboratorio, sin embargo, consideramos que con esta revisión se ha mostrado un panorama de la situación, del cual surgen nuevas inquietudes. La mayoría de los investigadores demandan la necesidad de resignificar el TL tradicional en el contexto educativo, así como, la realización de investigaciones con un referencial teórico definido y una metodología consistente con él y con la concepción del trabajo de laboratorio del estudio. Encontramos propuestas a la luz de las actuales posiciones epistemológicas, sin embargo, consideramos necesario incluir en la investigación el estudio del aprendizaje en el TL desde perspectivas cognitivas. También resulta relevante identificar otros factores importantes para la investigación educativa relacionada con los trabajos de laboratorio en la enseñanza de la ciencia.

Entre los factores que pueden estar plenamente identificadas en los estudios que se propongan al respecto son: el nivel educativo, la especialidad, la disciplina, las metas de aprendizaje, el currículo, el modelo de aprendizaje, las estrategias de evaluación, la demanda cognitiva del trabajo de laboratorio, la concepción epistemológica subyacente al trabajo de laboratorio, el nivel de interacción social, el tipo de actividad práctica, la naturaleza de la interacción que se desarrolla, el contexto escolar, entre otras.

Por último, el análisis de estas variables debe realizarse en el campo educativo, es decir, en el propio lugar donde se desarrollan los trabajos de laboratorio. En consecuencia, los métodos de indagación en los estudios relacionados con los trabajos de laboratorio deben ser consistentes con el tipo de actividad y con las preguntas de investigación que se planteen.

## **CAPÍTULO 4**

# **LA EPISTEMOLOGÍA DE LA CIENCIA Y LOS TRABAJOS DE LABORATORIO**

## CAPITULO 4

# LA EPISTEMOLOGÍA DE LA CIENCIA Y LOS TRABAJOS DE LABORATORIO

### 4.1 INTRODUCCIÓN

En función del tema de interés: los trabajos de laboratorio en la enseñanza y aprendizaje de la física, el estudio desarrollado ha sido fundamentado desde dos vertientes, por un lado, está la actividad experimental en la ciencia desde la perspectiva epistemológica. Una segunda vertiente se aborda desde la psicología cognitiva dentro la cual se han encontrado aportes importante para esta tesis en la teoría de campos conceptuales de Vergnaud. Si bien estos dos aspectos están mutuamente implicados en el proceso de enseñanza y aprendizaje de la Física, a los fines de una mayor profundización de los mismos, en el presente capitulo se disertará sobre el primer referencial, y en el capitulo siguiente se abordará lo relativo al componente cognitivo.

En el marco de los trabajos de laboratorio en la enseñanza de la ciencia hay algunos aspectos que parecen necesitar ser precisados, como son los contenidos, las metas de aprendizaje, y en consecuencia, la estrategia de enseñanza y la evaluación. Todos están fuertemente asociados con la concepción de ciencia y de aprendizaje que se tenga.

En relación a los **contenidos** propios del TL, como hemos visto deben estar relacionados tanto con conocimientos teóricos como con sus modos de producción, lo que demanda una explicitación de la concepción epistemológica acerca de los modos de conocer en la ciencia y su incidencia en el aprendizaje. Además, al establecer los contenidos a aprender con el TL, es necesario considerar desde la perspectiva cognitiva una estructura conceptual y las concepciones o representaciones que han desarrollado los estudiantes en relación al tema que interesa, a fin de mediar su desarrollo conceptual.

Al referirnos a las **metas de aprendizaje**, partiremos de la clasificación propuesta por Hodson (1994), quien expresa que aprender ciencia implica tres grandes metas:

- 1) *Aprender de la ciencia*. Implica adquirir y desarrollar el conocimiento conceptual teórico.

2) *Aprender acerca de la naturaleza de la ciencia*. Se refiere a lograr que los estudiantes desarrollen una comprensión de la naturaleza de la ciencia y su variedad de métodos, tomando conciencia de su complejidad.

3) *Aprender a hacer ciencia*. Implica participar en la indagación científica con el fin de alcanzar experiencia e independencia en el quehacer de la ciencia. Esto sólo es posible sobre la base de un conocimiento de la ciencia, por lo que el autor lo propone como un aprendizaje posterior a los otros dos. Ello, no niega la posibilidad de que los estudiantes participen en la resolución de problemas, concebidos como pequeños proyectos de indagación, guiados, orientados y coordinados por los docentes, quienes ya conocen algunos posibles diseños y los resultados, mientras que para los estudiantes resultarían verdaderos problemas cuya solución no les es evidente.

Así mismo se tiene que investigadores como Gott y Duggan (1996) plantean que el desarrollo de una cultura científica se alcanza mediante la adquisición e integración de *un conocimiento base conceptual y un conocimiento base relativo a la evidencia*. En este último incluyen a su vez un componente conceptual y un componente procedimental indisolubles, es decir, para estos autores, el conocimiento base relativo a la evidencia está fuertemente asociado con el quehacer experimental, lo que les lleva a declarar cuál es el significado de evidencia en la ciencia, y en consecuencia, en el ámbito epistemológico.

Por último, las **estrategias de enseñanza y evaluación** como vimos están en función de la meta de aprendizaje que se establezca y de las condiciones bajo las cuales éstas se vayan a desarrollar. Además, dependiendo de la concepción que se tenga acerca de la actividad experimental en la ciencia, se llevarán a cabo diversas maneras de orientar el TL en el ámbito educativo.

A continuación se hará una exposición acerca de la actividad experimental en física como parte relevante del modo de producción de conocimientos en la disciplina y desde la filosofía de la ciencia.

## **4.2 EL TRABAJO DE LABORATORIO EN LA CIENCIA DESDE DOS PERSPECTIVAS EPISTEMOLÓGICAS INTEGRADAS**

En la historia de la ciencia la mayoría de sus exponentes consideran al siglo XVII como el punto de partida de lo que hoy conocemos como actividad experimental. Se

inicia con Bacon quien valoriza la experiencia sistemática realizada metódicamente y critica la recolección de datos a partir de la observación casual como fuente de conocimiento.

En el campo de la ciencia, Galileo Galilei (1564-1642) en Italia, plantea la separación entre el pensamiento religioso y el científico, atribuyéndole a este último un predominio de validez frente al anterior. Este científico ha sido interpretado como un representante del empirismo, por la importancia que le concede a la experiencia como fuente de conocimiento ya que considera que para conocer la naturaleza es necesario interrogarla directamente, sin embargo, su defensa por la creación de modelos de fenómenos que llevan al diseño de experiencias que no están en la naturaleza y a la construcción de instrumentos que ayuden a la obtención de mayor precisión, lo alejan de las posiciones inductivistas. Si bien Galileo no describió de manera explícita los procedimientos científicos, ha sido inferido de sus trabajos un procedimiento que hoy conocemos como *método experimental*. Este método consiste en:

- i) *Modelar para medir*, en el sentido de medir magnitudes que se suponen significativas.
- ii) Formular hipótesis en términos matemáticos que expresen relaciones entre magnitudes y que sean contrastables, “...*las (suposiciones) de Galileo son susceptibles de verificación experimental (“los graves deben caer con velocidades independientes de sus pesos”)*...” (Papp, 1961, p 5-92)
- iii) Deducir consecuencias que puedan ser sometidas a la contrastación empírica.
- iv) Diseñar experiencias para provocar un evento que permitan evaluar experimentalmente, con control, las consecuencias deducidas.

En la creación de los modelos o diseños experimentales se puede ver cómo Galileo integra la práctica con la teoría y la actividad matemática deductiva. Como lo señala Papp (1961, p 5-92), “...Sin embargo, Galileo no pone en juego la experiencia para encontrar la ley, la invoca sólo para verificarla, ya encontrada con razonamientos deductivos. No se peca subrayando demasiado esta característica del método galileano, puesto que fue desconocida por muchos historiadores que proclamaron a Galileo como inventor de la física experimental.... La revolucionaria innovación metodológica introducida por Galileo en la ciencia no consiste en la apoteosis de la experiencia con menosprecio de la especulación deductiva, sino, en la magistral síntesis del triple método de sus precursores –filosófico, matemático y empírico en una indivisible unidad”.

Newton (1642-1727) rescata e integra el trabajo experimental al quehacer científico; valora la actividad que se desarrolla en el laboratorio y la emplea de manera muy diversa. Así en la mecánica celeste, el espacio fue su laboratorio y los métodos matemáticos sus instrumentos. Mientras que en otras áreas como la óptica, el control constante y riguroso del experimento constituye la clave de su método. Las relaciones que se suponen regulan los fenómenos y las consecuencias que se derivan de éstas, son expresadas en términos matemáticos y deben permitir diseñar eventos que puedan ser rigurosamente controlados, para así afirmar si son verdaderas o no. A pesar de la fuerte relación teoría-experimento y de la creación de modelos representativos de los fenómenos reales, en los cuales se encuentran conceptos y supuestos, como partícula, superficies sin fricción, otros, que intentan simplificar la realidad para su estudio, prevalece la concepción de progreso científico como conocimiento acumulativo, es decir, el nuevo conocimiento está asentado en otro precedente (Damiani, 1997; Geymonat, 1998)

Posteriormente, con el desarrollo del positivismo, Comte ratifica su respeto por la experimentación, es decir, la observación y la experiencia controlada. Además, le da un lugar preferencial al experimento, del cual deriva el saber riguroso, utilizando el análisis matemático. Bajo esta concepción empirista, los conocimientos científicos son descubiertos mediante la experimentación rigurosa. En tal sentido, se considera que:

- Una observación es fuente de conocimiento o al menos de hipótesis a comprobar.
- El conocimiento científico se obtiene como síntesis de los resultados experimentales; aplicando reglas precisas que le dan rigurosidad al experimento.
- En la producción del conocimiento científico no se tiene en cuenta la invención ni la creatividad humana, lo que convierte a la ciencia en un cuerpo de conocimientos absolutos y acumulativos.

En el contexto educativo, en particular en la enseñanza de la ciencia, esta visión positivista de la ciencia se traduce en actividades de laboratorio y propuestas de proyectos de investigación que se orientan por métodos generales preestablecidos, cuya secuencia, como lo establece Lang (1996), por lo general, es:

- i) Se inician con la observación, en el sentido de *descubrir* las variaciones en una variable por el efecto de otra.
- ii) Se recolectan datos mediante mediciones, y control y manipulación de variables.
- iii) Se analizan las relaciones entre datos para *descubrir* la función que la describe.
- iv) Se expresa la relación mediante alguna función matemática.

En este referencial, se supone que los individuos no crean, construyen o reconstruyen conocimientos, lo que lleva a considerar a los estudiantes como personas que tienen sus mentes vacías y a los cuales hay que enseñarles el conocimiento científico existente y el método de la ciencia (inductivista) para que aprendan a *descubrir* nuevos conocimientos. En versiones más sofisticadas, se incorporan conceptos de precisión e incertidumbre en las medidas, que no son más que evidencias del pensamiento empirista menos radical de Hume.

El avance de la ciencia y los cambios en las posturas epistemológicas de los últimos años, permiten ver que la actividad experimental, el laboratorio, ha tomado otro lugar y otra función dentro de la producción de conocimientos. El racionalismo crítico de Popper y Lakatos, nos plantea que la observación y la experimentación no son neutras, por lo tanto, no pueden ser consideradas como fuentes objetivas de conocimientos. El método hipotético-deductivo propuesto, le da primacía a la inventiva y creación de hipótesis audaces por parte del hombre, a partir de las cuales se deducen consecuencias que deben ser factibles de falsación, lo cual conlleva al desarrollo de múltiples experimentos rigurosos que intentan probar su falsedad. Esta actividad trae consigo el desarrollo de teorías para la construcción de instrumentos de medición y el diseño de técnicas experimentales. Por otra parte, en la historia de la ciencia se encuentran experimentos que resultaron cruciales en el progreso de la ciencia, porque marcaron la división entre el abandono de un programa de investigación y la aceptación de otro emergente y rival.

En este marco de referencia, la enseñanza de la ciencia presentaría un enfoque distinto al descrito en la propuesta anterior. En primer lugar, cabe destacar que al considerar al hombre como inventor y creador de los sistemas de hipótesis que conforman la ciencia, tiene sentido pensar que los estudiantes también han desarrollado un cuerpo de *conocimientos* frente a los cuales es importante plantear experiencias que

favorezcan la contrastabilidad de las hipótesis y su posibilidad de falsación. En este sentido, los programas de investigación que se generaron a partir de los años 70 acerca de las concepciones alternativas han reportado que los estudiantes han construido múltiples ideas acerca del mundo y su realidad, que en muchos casos no se corresponden con los conocimientos científicos, las cuales, además, son resistentes al cambio; y a pesar de los cursos de ciencia estas ideas prevalecen en sus estructuras cognitivas. En palabras de Bachelard (1999) estaríamos ante una situación de un conocimiento que se ha producido desde el sentido común y la experiencia diaria, y que se transforma en un obstáculo para el aprendizaje del conocimiento científico.

Otra implicación didáctica de esta postura epistemológica relacionada con el trabajo experimental, es expresada por Fourez (1994); este autor parte de la valoración de las ideas iniciales de los estudiantes, ya que acepta que el modelo que ellos han desarrollado se enmarca en algún contexto que lo satisface, es decir, que no ha sido falsado. Luego se le presentan a los alumnos situaciones con las cuales puedan falsar sus ideas, percibiendo las limitaciones de sus modelos en nuevos contextos. El profesor introduce los modelos científicos como una alternativa teórica posible, que para la época es aceptada por una comunidad científica; por último, se verifica que en las instancias experimentales utilizadas para refutar sus modelos iniciales, estas ideas científicas no resultan falsadas. Por otra parte, la incorporación de la historia de la ciencia en esta propuesta es considerada importante para la comprensión del progreso y de la naturaleza de la ciencia.

Un aspecto a destacar desde estas perspectivas es lo relativo a la medición y su precisión, muy relacionado con la experiencia científica. En este sentido, Bachelard (1999) plantea que una de las exigencias del pensamiento científico es la precisión de la medida, la cual debe estar referida a la sensibilidad del método de medida y a las condiciones de permanencia del objeto medido; a ello agregamos la inherente presencia de la incertidumbre en cada medida. En la experimentación lo relevante no es el objeto, sino el método de medida con el cual se aproxima al objeto. Por tal razón, señala que “hay que reflexionar para medir y no medir para reflexionar” (ibidem, p. 251). Estos planteamientos también tienen implicaciones para la enseñanza, ya que la manera en que se presenta el tema de los errores experimentales, la precisión de la medida, la

sensibilidad de los instrumentos, el método de medida y la expresión escrita de las mediciones, promoverá o no la formación del espíritu científico en los estudiantes.

Por último, presentamos a continuación un análisis del pensamiento científico de algunos físicos del siglo XX, con el fin de caracterizar al laboratorio en la física contemporánea. Comentaremos en primer lugar la visión científica de Einstein (Arruda y Laburú, 1998), quien planteaba que existen por un lado, las experiencias directas o hechos fácticos que están dados por la naturaleza, y por otro, los axiomas inventados por los hombres de los cuales se extraen consecuencias, que deben ser factibles de verificación experimental; la verificación no en el sentido de búsqueda de la verdad de los axiomas sino como una forma de establecer una correspondencia entre *consecuencia* y *experimento* con lo cual, se alcanza una comprensión de la naturaleza. Para este físico, no hay un camino lógico que lleve de la experiencia a los axiomas, estos son invenciones del hombre. El pensamiento científico de Einstein puede ser enmarcado en el racionalismo crítico (Arruda y Laburú, 1998).

Murray Gell-Mann (1994), otro físico destacado de nuestro siglo, expone que cada teoría es una descripción muy general que engloba una gran cantidad de clases de situaciones, y por ello, tiene que suplementarse con los detalles de cada clase de situaciones para poder hacer predicciones concretas. Comparte la idea de que las nuevas teorías compiten con las existentes en parte por coherencia y generalidad, y también por su capacidad de explicar las observaciones existentes y de predecir otras nuevas.

Este autor plantea que si bien hoy en la actividad de la física encontramos a los físicos teóricos y a los físicos experimentales, ello no significa que haya dos físicas ni dos formas de producir conocimiento, la producción de ambos se complementa. A veces los teóricos van adelante con la invención de nuevas ideas que estimulan a los experimentales al desarrollo de técnicas de laboratorio y construcción de nuevos instrumentos para el diseño de nuevos experimentos, mientras que otras veces los experimentales en su propio progreso se encuentran con resultados inesperados que obligan a la construcción de nuevos modelos que demandan la revisión de las teorías o a la formulación de otras nuevas. Esta dinámica pone en evidencia la interrelación entre ideas y experimentos. Por lo general, hay varias teorías en competencia, cada una de ellas hace sus predicciones desplegando sus enunciados generales con información detallada sobre el caso particular.

Gell-Mann (1994) expone que la empresa científica aunque se asocia con un método de trabajo preestablecido y supuestamente objetivo, no se ajusta a ningún modelo bien definido, sobre todo porque ella es obra de humanos, y en consecuencia, no están inmunes a la influencia de la sociedad. A pesar de las desviaciones que se puedan observar en la actividad científica, esta es autocorrectiva por encima de cualquier abuso o extravagancia. Los resultados finales de una teoría son claros, sin embargo, la historia de su desarrollo muestra cómo en el punto de partida eran confusos y con el tiempo y el aporte de diferentes grupos que investigan en la misma línea, se van precisando y aclarando. Para ello describe el ejemplo de la teoría electromagnética y las cuatro ecuaciones de Maxwell, las cuales constituyen el cierre de un proceso de integración de dos fenómenos considerados independientes, que se inicia en el año 1800 con Volta y culmina con Maxwell casi a finales del siglo XIX; en el camino participaron otros científicos como, Oersted, Coulomb, Faraday, Ampère, Biot-Savart, Lenz, entre otros, cuyos aportes variaban en su énfasis experimental o teórico, pero que estaban dirigidos al desarrollo de una teoría que transformaba la manera de ver a la naturaleza, es decir, de verla como fenómenos eléctricos y magnéticos no relacionados, se pasó a considerar el fenómeno electromagnético (ibidem).

En opinión de Gell-Mann (1994) las teorías tienen diferentes configuraciones, según sea el objeto de estudio. En el caso de las ciencias naturales, en particular de la física, considera que el objeto de estudio es simple, y por ello, la teoría está constituida por leyes que permiten expresar explicaciones plausibles y verificables. En cambio, en disciplinas como la psicología, la antropología, otras, cuyo objeto de estudio son fenómenos sociales, las teorías son estructuradas mediante *descripciones* más que *legalizaciones* debido a la complejidad de dichos fenómenos.

En la actualidad parece no tener sentido hablar del método experimental sino más bien de una actividad experimental que forma parte de un cuerpo de conocimientos. La ciencia busca teorías que resuelvan problemas con eficacia, los cuales pueden ser empíricos o conceptuales; el progreso de la ciencia se da en la medida en que se resuelven o eluden más problemas. En este sentido, los cambios son en forma gradual, aceptándose la coexistencia de programas rivales, y aunque existe una relación bidireccional entre teoría y métodos, el progreso en cada ámbito puede no ser simultáneo (Pesa, 2000).

En atención a lo anterior, se presenta un análisis del trabajo de laboratorio (TL) desde dos grandes perspectivas epistemológicas: la filosofía tradicional basada en el empirismo-inductivismo o concepción estándar (CE), y la denominada nueva filosofía de la ciencia o concepción no estándar (CNE) (Pesa, 2002; Abd-El Khalick y Lederman, 2000a). Este análisis será expuesto atendiendo a las siguientes cuestiones:

- ¿Cuál es el estatus de la actividad experimental en la ciencia?
- ¿Con qué finalidad se realizan experimentos en la ciencia?
- ¿Cómo se interpretan los datos experimentales? ¿cómo se relaciona este proceso con la estructura teórica?
- ¿Cómo se conciben los hechos, datos y evidencias?
- ¿Cómo se efectúa la contrastación empírica?
- ¿Cuál es el rol de la creatividad e imaginación del científico en el trabajo de laboratorio?
- ¿Cómo son valorados los resultados experimentales?

#### **4.2.1 El Trabajo de Laboratorio desde una Concepción Estándar de la Ciencia**

Desde la filosofía de la ciencia, el desarrollo del positivismo con Comte (1798-1857) ratifica el respeto por la experimentación desarrollado en la ciencia, pero concibe la observación y la experiencia controlada como la única vía para producir conocimientos; así, basados en la inducción y en el análisis matemático se deriva el saber riguroso. Popper (Popper, 1983; Chalmers,1998) crítico del inductivismo, sustituye la verificación por la falsación, y la inducción por el método hipotético-deductivo, sin embargo, mantiene una visión de ciencia centrada en la lógica, con carácter ahistórica.

En general, hasta la primera mitad del siglo XX parece predominar una visión centrada en ciencia como conjunto de teorías que siguen de manera rígida una lógica formal, cuyo único criterio de validez es el empírico, que progresa por acumulación de verdades o rechazo de teorías falsas, y que ha sido denominada como *concepción estándar*, CE. Esta visión ha sido ubicada dentro del período prekuhniano desde la filosofía de la ciencia (Abd-El-Khalick y Lederman, 2000a; Pesa, 2000).

Desde esta concepción y siguiendo las preguntas planteadas, el trabajo experimental se puede caracterizar de la siguiente forma:

- *¿Cuál es el estatus de la actividad experimental en la ciencia?* La actividad del experimental tiene un estatus prioritario, es el único criterio de validez (verificación o falsación) de los conocimientos científicos; es la prueba definitiva de las hipótesis y teorías.
- *¿Con qué finalidad se realizan experimentos en la ciencia?* La finalidad del experimento es única, está dirigido a la búsqueda de la verdad, y en consecuencia, a la producción de conocimiento científico y al rechazo de toda idea que no pueda ser evaluada según estos criterios o que su evaluación resulte desfavorable. La observación es la fuente de las hipótesis de investigación.
- *¿Cómo se interpretan los datos experimentales? ¿Cómo se relaciona este proceso con la estructura teórica?* Se considera como ciencia sólo al conjunto de teorías, modelos y enunciados estructurados jerárquicamente, que sigue una lógica hipotética deductiva o inductiva-deductiva. La actividad experimental es una herramienta para la validación de teorías o para su descubrimiento; donde los procedimientos, instrumentos y técnicas no deben perturbar la medición. El progreso en el ámbito de la experimentación se centra en el desarrollo de instrumentos que permitan la obtención de datos cada vez más fieles y objetivos.
- *¿Cómo se conciben los hechos, datos y evidencias?* Las observaciones se convierten en datos una vez que estos han podido ser medidos, estableciéndose entre ellos una relación biunívoca. Los datos obtenidos son considerados como objetivos y totalmente aislados de influencias de tipo social y cultural. Esta *pureza* hace que los datos empíricos tengan garantía suficiente para aceptar o rechazar las hipótesis planteadas y para producir a partir de ellos generalizaciones o modelos fieles que los representan.
- *¿Cómo se efectúa la contrastación empírica?* La contrastación empírica se lleva a cabo mediante un conjunto de reglas o pasos bien establecidos de carácter universal que garantiza la fiabilidad y validez de los resultados, el cual, generalmente, es conocido como *el método científico*. Este método es concebido como un procedimiento lógico, rígido que parte de la observación y llega a conclusiones que constituyen el conocimiento científico (Moreira y Ostermann, 1993).
- *¿Cuál es el rol de la creatividad e imaginación del científico en el trabajo de laboratorio?* Los aspectos de orden psicológico como la creatividad o la

imaginación, no tienen cabida en la ciencia, en consecuencia, el trabajo del laboratorio se caracteriza por ser una actividad bien estructurada y normada. Las variantes o invenciones perturbarían la objetividad de los resultados, por lo cual, no son considerados en el proceso. La ciencia es vista como una actividad impersonal y ahistórica. No se consideran relevantes las creencias o cosmovisiones, ni los aspectos contextuales.

- *¿Cómo son valorados los resultados experimentales?* Los resultados experimentales tienen valor por sí mismos, sobre la base del análisis de la estructura sintáctica del proceso mediante el cual han sido obtenidos. No tienen cabida diferentes interpretaciones de los resultados, se busca el valor correcto y verdadero.

Sin embargo, esta visión de ciencia no parece corresponderse con la actividad desarrollada por los científicos. En la historia de la física se encuentran muchos ejemplos que muestran otra cara de lo que realmente ha sido la empresa científica y el pensamiento de sus actores. La presencia de resultados anómalos que obliguen a la construcción de nuevos modelos que den cuenta de ellos; la aceptación o rechazo de los modelos y teorías sin la existencia de evidencias empíricas que las respalden, entre otros, son aspectos que motivaron cambios en el ámbito de la epistemología, en el siglo XX (Arruda y Laburú, 1998; Gell-Mann, 1994; Ramsey, 2001; entre otros).

#### **4.2.2 El Trabajo de Laboratorio desde la Nueva Filosofía de la Ciencia**

El avance de la ciencia incidió en el surgimiento de diferentes posturas epistemológicas durante la segunda mitad del siglo XX (Kuhn, 1971; Feyerabend, 1975; Laudan, 1986; Lakatos, 1989). Las variaciones entre ellas dependen del grado de racionalidad que predomina, y en consecuencia, del grado en que se acepta la influencia que tienen factores externos de origen psicológico, social o cultural, sobre la producción de conocimientos y el progreso de la ciencia, así como en otros aspectos como: pluralidad teórica, contrastación entre teorías. A pesar de ello, hay aspectos relevantes en los que parece haber acuerdo por lo cual diversos autores (Pesa, 2002; Abd-El

Khalick, F y Lederman, N. 2000b), han caracterizado lo que se denomina *concepción no estándar de la ciencia* (CNE).

Entre los aspectos comunes más significativos, se citan los siguientes:

- El conocimiento científico es una construcción social, por ello los epistemólogos se interesan no sólo en el cuerpo teórico sino también en el proceso de producción del mismo y los criterios de validación establecidos por el colectivo.
- El conocimiento tiene carácter provisional o tentativo, es aceptado con la posibilidad de que puede cambiar, por ello se considera histórico y contextual.
- Se acepta el pluralismo metodológico. La ciencia se concibe conformada, según el autor, por: paradigmas (Kuhn, 1971), tradiciones (Laudan, 1986) o programas (Lakatos, 1989), los cuales incluyen un cuerpo de conocimientos teóricos, unos fines y unos métodos interrelacionados, es decir, no se acepta la existencia de un método único y universal que sea independiente del cuerpo teórico. El método científico es un conjunto de procedimientos perfectible, que permiten plantear problemas y contrastar hipótesis, en el marco de la teoría, y que como toda actividad humana, no garantiza la obtención de la verdad absoluta.
- La experiencia aunque se sigue considerando necesaria, no es el único criterio válido para aceptar o rechazar las hipótesis; también se encuentran criterios de origen personal o social.
- El progreso está determinado por la comunidad científica, no sólo en función del número de problemas empíricos y teóricos que un programa es capaz de resolver, o del número de fenómenos que una hipótesis puede interpretar, sino también por criterios de orden psicológico y social. Este progreso implica cambios en el dominio teórico y metodológico, en relación a los fines de la ciencia establecidos por la comunidad en un momento histórico (Laudan, 1986; Lakatos, 1989; Cudmani, Salinas y Jaen, sf; Lang, 1996; Chalmer, 1998; Pesa, 2002)
- Las observaciones no son neutras, ni objetivas, están impregnadas de teoría, de significados derivados del propio ámbito de la ciencia y de otras fuentes externas, que pueden ser: creencias, valores, o preconcepciones, los cuales, no necesariamente están explícitos, sino que son parte de la comunidad de cada momento histórico.

- La ciencia tiene diferentes objetivos: resolución de problemas, adecuación empírica que permita generar explicaciones, predicciones, contrastación de ideas, otros.

En este marco de referencia, la actividad experimental toma otro estatus y nuevas funciones dentro de la producción de conocimientos. Según Lakatos (1989), en los programas de investigación, la experiencia no es una actividad estandarizada, su intención es diversa, en principio está dirigida a contrastar las predicciones derivadas del cuerpo teórico de ese programa o de otro rival, lo cual implica que las teorías y modelos guían el trabajo empírico; en el proceso, el cuerpo metodológico crece, creando a su vez modelos teóricos para el desarrollo de nuevos métodos observacionales. No se descartan los datos empíricos casuales en el programa o de otros programas, ellos requerirán la producción de explicaciones, de modelos representativos, que a su vez pueden implicar la creación de nuevas hipótesis. Por otra parte, en la historia de la ciencia se encuentran experimentos que resultaron cruciales para el progreso de la ciencia, porque marcaron la división entre el abandono de un programa de investigación y la aceptación de otro emergente y rival, sin embargo, esto debe verse en el proceso histórico. Los programas de investigación degeneran en la medida en que predominan los datos sin explicaciones, las predicciones sin corroborar y sobre todo, la existencia de programas progresivos rivales.

Laudan (1986), por su parte, considera que la ciencia está formada por *tradiciones de investigación*, en donde, además de las estructuras teóricas se comparten compromisos (creencias, normas epistémicas y metodológicas, preguntas). Este autor propone un modelo triádico, que incluye las teorías, los métodos y los fines de la investigación como aspectos inseparables, no jerarquizados, en donde, los cambios en cada uno de ellos pueden ocurrir en momentos distintos, pero se afectan entre sí. La ciencia busca teorías que resuelvan problemas con eficacia, los cuales pueden ser empíricos o teóricos; entre los primeros, se acepta la presencia de hechos, datos y relaciones que necesitan explicaciones, así como la contrastación de predicciones derivadas de la teoría; los problemas teóricos se dan sólo en ese ámbito y corresponden a inconsistencias internas. El progreso de las tradiciones de investigación se da en la medida en que resuelven o eluden más problemas; en este sentido, considera que los cambios de teorías no son por sustitución, como lo plantea Kuhn, sino de forma gradual, aceptando la coexistencia de teorías rivales. Así, la relación entre teoría y métodos es bidireccional (Pesa, 2000, p. 198).

Desde la concepción no estándar de la ciencia y atendiendo a las preguntas expuestas en el inicio, el laboratorio en las ciencias experimentales como la física, puede caracterizarse de la siguiente manera:

- *¿Cuál es el estatus de la actividad experimental en la ciencia?* La experiencia continua teniendo un rol importante, pero por sí sola no puede verificar o rechazar las hipótesis, intervienen otros criterios de validación para complementar, los cual pueden ser de orden social, cultural, personal. Entre la teoría y el experimento no se establecen jerarquías.
- *¿Con qué finalidad se realizan experimentos en la ciencia?* Los fines de la actividad empírica están en función de los problemas que se plantea la comunidad que comparte un cuerpo de conocimientos, los cuales pueden ser muy diversos, por ej. coleccionar nuevos datos que corroboren teorías o relaciones establecidas, contrastar predicciones derivadas de la teoría, resolver problemas, explorar datos para la construcciones de explicaciones y modelos, analizar y evaluar la adecuación de los modelos a los datos obtenidos en el experimento.
- *¿Cómo se interpretan los datos experimentales? ¿cómo se relaciona este proceso con la estructura teórica?* Existe interdependencia entre el dominio teórico y el experimental. Al igual que la teoría, el trabajo experimental es parte de la ciencia y no, una herramienta de ésta. No se establece una jerarquía entre ellos, ambos tienen la misma relevancia en la producción de conocimientos. La experiencia está orientada por las teorías, creencias, significados, los cuales a su vez son justificados por la experiencia; así, en un experimento se considera aquello que resulta relevante a la luz de una teoría y de las condiciones particulares del problema a resolver, pero ante la presencia de datos *anómalos* que plantean problemas empíricos, es necesaria la construcción de modelos que los representen. Tal como lo plantea Laudan (1986) en el modelo triádico.
- *¿Cómo se conciben los hechos, datos y evidencias?* Para Latour y Woolgar (1995), los productos del trabajo del laboratorio son: datos, tablas, gráficos, registros, todos relativos a los enunciados en estudio, que son interpretados, discutidos, contrastados por los investigadores y sus pares, quienes en algún momento los califican como *hechos*, es decir, como enunciados que pierden todos los calificativos temporales y que son aceptados por la comunidad sin necesidad de

respaldarlos o soportarlos; este tipo de enunciado es el que, por lo general, se encuentra en los libros de texto.

Los *datos* para Bunge (1975) son producidos en el marco de una teoría, se consideran una referencia objetiva en el sentido de que son producto de la observación; con frecuencia son indicadores de objetos no observables, que se sustentan en hipótesis relacionales (objeto no observable-objeto perceptible) que resultan de modelos teóricos y que se contrastan de manera independiente; para este autor la *evidencia* es un dato relevante desde algún referencial, es decir, es un dato que ha logrado ser interpretado mediante alguna teoría, por lo tanto, los datos y las evidencias están cargados de teoría. En el trabajo empírico es necesario establecer anticipadamente qué datos se constituyen en evidencia de aquello que se quiere estudiar, a la luz de ciertos modelos. Desde esta visión, el mundo real puede ser aprehendido de diferentes formas, según los modelos teóricos de referencia. Por otra parte, en el proceso de la observación intervienen además del objeto a observar, el sujeto que observa, las circunstancias, los métodos de observación y el cuerpo de conocimientos, todo lo cual le quita a los datos su carácter de únicos, puros y neutros, para ser considerados provisorios, y en consecuencia, resulta necesario describir el grado de precisión y exactitud de los mismos.

- *¿Cómo se efectúa la contrastación empírica?* La contrastación experimental depende del problema, y en consecuencia, del programa de investigación (tradicición o paradigma). Cudmani, Salinas y Jaén (sf) plantean diferentes niveles de contrastación: el de las proposiciones observables, las hipótesis y las teorías, cada uno de los cuales implica un proceso distinto. En cualquier caso, es menester pensar en el diseño, en la recolección de los datos y en su interpretación, dando cabida a criterios alternos para la aceptación de los resultados experimentales con el mayor grado de confianza posible. Los procedimientos y los fines de la contrastación también dependen del nivel de desarrollo o progreso en que se encuentra el programa de investigación.
- *¿Cuál es el rol de la creatividad e imaginación del científico en el trabajo de laboratorio?* De la misma manera que en el desarrollo de modelos para abordar el estudio de fenómenos del mundo real o para explicar resultados empíricos anómalos, no basta el uso de lógicas formales o normas establecidas; en la

formulación de los problemas y las hipótesis, interviene una gran dosis de creatividad, imaginación e intuición por parte de los investigadores. De igual forma, aunque la contrastación experimental requiere de planificación y control que garantice la mayor precisión y exactitud posible, no escapa a la creatividad e intuición de los investigadores pues no existe un procedimiento infalible, lineal y rígido. Durante el trabajo experimental surge una diversidad de situaciones que requieren de la experiencia y la inventiva, además del conocimiento de los investigadores.

- Estas ideas están claramente expresadas por uno de los físicos relevantes del siglo XX, Feynman (1964)

“ ... pero, ¿cuál es la fuente del conocimiento? ¿de dónde vienen las leyes que son contrastadas con el experimento? El experimento, en sí mismo, ayuda a producir estas leyes, en el sentido de que ellos nos dan pistas, indicadores. Pero, también es necesaria la **imaginación** para crear desde estas pistas las grandes generalizaciones – para conjeturar acerca de los asombrosos, simples, pero muy fuertes patrones que están debajo de todas las pistas, y entonces, experimentar para chequear otra vez si nosotros hicimos las conjeturas adecuadas” (Feynman, 1964, tomo. 1, cap. 1)

- *¿Cómo son valorados los resultados experimentales?* Los resultados empíricos son interpretados a la luz de un marco conceptual; ellos por sí solos no tienen significado. Además, los resultados no anticipados son considerados relevantes en la medida en que ellos puedan adquirir significado, es decir, puedan irse explicando mediante cambios en la estructura teórica o creación de nuevos modelos.

Los resultados pueden corroborar o no los modelos teóricos, sin embargo, ellos no son decisivos, intervienen otros criterios para lograr el consenso de la comunidad, por lo tanto, su interpretación será tentativa. La historia de la ciencia, incluso reciente, muestra casos, de resultados y modelos sorprendentes o retadores que fueron rechazados por la comunidad científica en un momento dado, y que tiempo después terminaron siendo aceptados e inclusive se convirtieron en la razón por la cual les fue otorgado el premio Nóbel a algunos científicos, como es el caso de Hideki Yukawa a quien en 1937 le fue rechazado un artículo de la revista Nature,

y en 1949 recibió el premio Nóbel por el mismo tópico<sup>1</sup> del artículo. (Campanario, 2004).

El trabajo de laboratorio concebido desde estas dos macrovisiones epistemológicas, implica procedimientos y estrategias diferentes en el quehacer científico, y en consecuencia, orientan diversas concepciones del TL en el ámbito de la educación en ciencia, y en el desarrollo de distintas concepciones acerca del rol de la actividad experimental en los estudiantes, como se indicó en la sección inicial. Por lo tanto, resulta pertinente conocer las concepciones de los estudiantes en relación con la actividad experimental en la ciencia, así como analizar las diversas maneras de cómo se están desarrollando los TL en las aulas de ciencia. La caracterización de la actividad de laboratorio en la ciencia desde estas dos perspectivas servirá de guía para la construcción de un instrumento dirigido a la evaluación de dichas concepciones, así como para la interpretación de los datos que se recolecten con él. De igual forma puede permitir el análisis de los cursos de laboratorio

#### **4.3 POSIBLES FACTORES A CONSIDERAR EN LOS CURSOS DE LABORATORIO DE FÍSICA DESDE LA PERSPECTIVA EPISTEMOLÓGICA**

El trabajo de laboratorio en los cursos de ciencia y su inserción en el curriculum dependerá de la visión epistemológica que se tenga. Se supone que esta visión epistemológica debe corresponderse con las tendencias aceptadas por la comunidad en cada época y con el quehacer científico. Sin embargo, como lo plantean diferentes autores, hoy en día, en la enseñanza de la ciencia y en particular, en lo referente al trabajo de laboratorio, se pueden observar elementos y acciones que reflejan una ciencia cuya naturaleza difiere de lo aceptado actualmente. Un análisis de los componentes del proceso educativo, en lo que respecta al trabajo de laboratorio, permitiría identificar qué enfoque epistemológico predomina en esa enseñanza, y si se están promoviendo en los estudiantes, concepciones acerca de la naturaleza de la ciencia no deseadas.

Dentro de un curso de laboratorio se pueden considerar algunos componentes educativos, como: los programas (curriculum), las guías o manuales de laboratorio, el

---

<sup>1</sup> Premio Nóbel a H. Yukawa por "*for his prediction of the existence of mesons on the basis of theoretical work on nuclear forces*"

docente, los estudiantes, y la evaluación. Un análisis de estos componentes por separado y en combinación específica, permitiría establecer conjeturas en cuanto a la visión acerca de la naturaleza de la ciencia que se promueve en los estudiantes. Sin pretender hacer una lista exhaustiva, algunos de los aspectos que se podrían considerar de cada uno de los componentes mencionados, con miras a identificar la ó las perspectivas epistemológicas se presentan en el cuadro 4-1.

En relación con los *Programas* se puede analizar aspectos como: la finalidad del curso, la estructura del proceso de trabajo, su inserción en el currículo de la carrera o nivel, y la conceptualización explícita o implícita acerca de tópicos propios de la actividad experimental.

Un aspecto que puede incidir en la visión acerca de la naturaleza de la ciencia, es la evaluación. Ya que, por lo general, es ésta la que realmente determina los objetivos de aprendizaje, y por lo tanto las actuaciones de los estudiantes.

En relación con los docentes y los estudiantes, sería de interés conocer sus conceptualizaciones en torno a la ciencia y a la actividad experimental en la producción de conocimientos científicos, además de analizar sus actuaciones y discursos durante la realización de los TL.

La presencia o ausencia de algunos de estos aspectos y el análisis cualitativo de otros, así como del conjunto que puede resultar en un curso de laboratorio, visto a la luz de las corrientes predominantes en cuanto al pensamiento científico, permitiría establecer conjeturas en relación a la dimensión epistemológica que está subyacente al curso en estudio. En la literatura encontramos un modelo del proceso de diseño y evaluación de una tarea práctica expuesto por Millar, Le Marechal y Tiberghien (1999) que derivaron de un estudio acerca de la efectividad del laboratorio realizado en varios países europeos. Este modelo se centra en dos aspectos centrales, los productos de aprendizaje esperados y el diseño de la tarea práctica, considerando en ambos a los estudiantes y los profesores. Este modelo incluye la mayoría de componentes propuestos en el cuadro 4-1, dentro de una estructura integral que pone en evidencia las interrelaciones entre ellos en función a la efectividad del TL.

**Cuadro 4-1.** Síntesis de posibles aspectos a analizar en los cursos de laboratorio.

<b>Componentes</b>	<b>Dimensión</b>	<b>Algunos Indicadores</b>
<i>Programa del curso</i>	Finalidad del trabajo de laboratorio	<p>Descubrir a partir de los datos experimentales relaciones.</p> <p>Verificar hipótesis o conjeturas deducidas del análisis teórico que resuelven un problema, dentro de lo cual se incluye la instrumentación.</p> <p>Adquirir destrezas operativas de manejo de equipos.</p> <p>Verificar la validez de relaciones aprendidas.</p>
	Estructura del proceso de trabajo	<p>Observación de experiencias (mediciones de magnitudes), análisis de gráficas, inferencia de la relación.</p> <p>Análisis de una situación descrita u observada a la luz de un modelo teórico; consecuencias o predicciones plausibles a ser confrontadas; análisis de uno o varios de los procedimientos de medida; toma de decisiones en cuanto al diseño experimental o análisis del propuesto; mediciones; procesamiento de datos experimentales; interpretación de resultados en función del proceso y los modelos considerados.</p>
	Inserción en el currículo del TL	<p>El TL es parte integral de los cursos de Física.</p> <p>Los cursos de laboratorio son independientes de los cursos de teoría.</p> <p>El TL se desarrolla en cursos independientes pero en correspondencia con los cursos de teoría.</p>
	Conceptualización acerca de aspectos propios de la actividad experimental	<p>Medición. Datos. Incerteza. Precisión. Errores.</p> <p>Instrumentación. Análisis. Interpretación. Conjeturas.</p> <p>Argumentación. Resultados, otros.</p>
<i>Guías de trabajo de laboratorio</i>	Estructura de la guía de laboratorio	<p>Cerrada, prescriptiva</p> <p>Semi-cerrada</p> <p>Abierta</p>
	Actividades de los alumnos	<p>Decididas por ellos en función de las metas</p> <p>Establecidas por el profesor</p> <p>Una combinación equilibrada de las dos anteriores.</p> <p>Establecidas por el profesor y analizadas con los alumnos</p>
<i>Evaluación</i>	Instrumento o procedimiento de evaluación	<p>Prueba escrita, Reporte del trabajo experimental. Guía de preguntas preestablecidas (prelaboratorio, poslaboratorio) Presentación y discusión de resultados con los pares. Otros.</p>
	Focalización	<p>Producto obtenido en el trabajo de laboratorio (resultados)</p> <p>Proceso del trabajo de laboratorio y resultados</p>

En esta tesis estamos interesados principalmente por la formación de docentes de ciencia, en particular de física, en la cual, consideramos que la dimensión epistemológica debe estar declarada, es decir, debe estar presente de manera explícita en todos los cursos de la especialidad, y de manera muy especial, en los cursos de laboratorio. Los estudiantes de profesorado durante su formación necesitan desarrollar una visión acerca de la ciencia, coherente con el modo de producción de conocimiento que se acepta y se pone en práctica en la comunidad científica, ya que la visión de ciencia que tenga el profesor incidirá en el desarrollo de sus clases durante su desempeño profesional.

## **CAPÍTULO 5**

### **TEORÍA DE CAMPOS CONCEPTUALES Y EL TRABAJO DE LABORATORIO**

## **CAPÍTULO 5**

### **TEORÍA DE CAMPOS CONCEPTUALES Y EL TRABAJO DE LABORATORIO**

En este capítulo se propone la teoría de Campo Conceptuales de Vergnaud (1990) como marco teórico para comprender y predecir el desarrollo conceptual de los estudiantes en la actividad experimental. Ello permite describir éste desarrollo en términos de esquemas (conceptos-en-acción y teoremas-en-acción) que se activan y construyen durante la resolución de situaciones problemáticas en el laboratorio de física. 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 e interdependencia tal como ocurre en la actividad de investigación científica; en ella se identifican tareas y subtareas de diversos tipos que demandan una variedad de conceptualizaciones para su ejecución. Se analizan e interpretan esos procesos a la luz de la teoría de campos conceptuales, CC, propuesta por Gérard Vergnaud (1998, 1990, Moreira, 2002). En este contexto, se ha desarrollado un modelo (MATLaF) para representar la dinámica cognitiva de los estudiantes, enfrentados a la resolución de situaciones problemáticas en el contexto de un laboratorio de Física básica (Andrés y Pesa, 2003), y una metodología de investigación para hacer explícitos los esquemas activados.

#### **5.1 LA TEORÍA DE CAMPOS CONCEPTUALES**

La teoría de Campos Conceptuales (TCC) (Vergnaud, 1990) constituye un marco referencial cognitivo para el estudio del desarrollo y el aprendizaje de competencias complejas. Su potencialidad para la investigación sobre el aprendizaje de la Física radica en la posibilidad de comprender los procesos que subyacen a la cognición, en particular a la construcción de representaciones internas del sujeto. El mayor desarrollo de la teoría de campos conceptuales se ha dado en el ámbito de la Matemática, pero esto no la hace exclusiva de ese dominio. Cada día encontramos más trabajos relacionados

con el aprendizaje de la Física dentro de este marco referencial, se pueden citar estudios relacionados con: i) resolución de problemas y la interpretación de las dificultades en la construcción de modelos mentales ante enunciados de problemas novedosos (Costa y Moreira, 2002, citado en Moreira, 2002; Escudero Moreira y Caballero, 2003); ii) el estudio de los invariantes operatorios presentes en los esquemas y las representaciones simbólicas para la conceptualización en Física (Weil-Barais y Vergnaud 1990; Stipcich y otros, 2004; Bravo y Pesa, 2004a, 2004b).

El propósito de la teoría propuesta por Vergnaud (1996) es formular un marco para explicar y predecir cuáles son los problemas de desarrollo conceptual en un campo de conocimiento específico. De acuerdo a este autor, el sujeto aprehende el conocimiento nuevo y lo integra a su estructura cognoscitiva por un proceso de integración adaptativa ante las situaciones particulares que vivencia, proceso que se desarrolla a lo largo del tiempo (Moreira 2004). La TCC no se restringe sólo a la didáctica, aunque tiene fuertes implicancias para la misma. Considera que un proceso didáctico efectivo debe siempre sustentarse en el conocimiento de las dificultades relativas a la tarea cognitiva, a los obstáculos de aprendizaje, a los procedimientos y a las representaciones disponibles por parte del sujeto.

El referencial propuesto por Vergnaud parte del siguiente principio piagetiano: la actividad del sujeto constituye el eje central del aprendizaje y del desarrollo cognitivo, por ser ésta el factor más importante en el proceso de adaptación psicológica; además, incorpora y resignifica el concepto de esquema presentado por Piaget (Vergnaud, 1996). A diferencia de Piaget, Vergnaud toma como referencia el contenido del conocimiento y el análisis del dominio de ese conocimiento (Vergnaud, 1994; Moreira, 2002).

En este proceso de elaboración pragmática, es decir, de un *sujeto en situación*, el desarrollo cognitivo es moldeado por las acciones de los sujetos en situaciones concretas y por los esquemas empleados y desarrollados para abordarlas (Vergnaud, 1990). Ahora bien, ¿cómo se abordan las situaciones? ¿Qué orienta o determina la actuación de un sujeto, en este trabajo, de un estudiante frente a una situación? ¿Qué se entiende por esquema en esta teoría? Abordaremos estas cuestiones a continuación.

### 5.1.1 Esquemas

Desde el referencial de Vergnaud (1990) se considera que el comportamiento ante una situación dada está dirigido por *esquemas*, es decir, entre la situación y la acción existe, en general, un mediador cognitivo que se denomina esquema. Según Vergnaud (*ibidem*), un esquema es “la organización invariante de la conducta para una clase de situaciones dada” (p. 136). No es la conducta la que resulta invariante, ya que la secuencia de acciones ejecutadas por una persona frente a una situación particular dependerá de las características de ésta, pero estará organizada por una entidad universal, denominada esquema. Encontramos entonces que a partir de un mismo esquema asociado a un conjunto de situaciones, se pueden producir diferentes secuencias de acciones. Si nuestro objetivo es el logro de un aprendizaje significativo, entonces, es en los esquemas donde debemos centrar la atención, indagando en ellos los conocimientos-en-acción, que tornan operatoria la acción de los estudiantes (Vergnaud, 1990; 1998; 1994).

La activación de un esquema frente una situación dependerá de la experiencia, de la eficiencia que el mismo haya tenido en ensayos anteriores, es decir, del conocimiento, explícito o implícito que se tenga acerca de la relación entre las operaciones y decisiones tomadas, y las situaciones específicas. Esta dinámica permite llegar a la automatización de secuencias de acciones, lo que se conoce como algoritmos. En este sentido, Vergnaud (1998) define un algoritmo como

“..una regla o conjunto de reglas efectivas para resolver una cierta clase de problemas. Este conjunto de reglas hace posible encontrar una solución a un problema de la clase en un número finito de pasos, si tal solución existe, o mostrar que no hay solución” (p. 171)

Por lo tanto, los algoritmos son esquemas efectivos; en cambio, la mayoría de los esquemas son sólo eficientes, es decir, un sujeto al activar un esquema no puede estar seguro de que alcanzará la meta, y menos aún, que esto ocurrirá en un número finito de pasos.

Por otra parte, Vergnaud (1990, 1998) concibe la existencia de diferentes tipos de esquemas en todos los dominios de la actividad humana: interacciones sociales, perceptivo-gestuales, técnicos, científicos, discursivos, otros. Los esquemas involucran conocimientos-en-acción (conceptos-en-acción y teoremas-en-acción) que permiten actuar frente a la situación; en el contexto educativo éstos pueden estar asociados a un

campo conceptual científico, provenientes de diferentes disciplinas como: matemática, física, otros. En la medida en que los conocimientos-en-acción son explicitados con representaciones cada vez más abstractas, van tomando la forma de conceptos y teoremas. Veamos un ejemplo: frente a situaciones referidas a *cruzar una calle* tenemos un esquema para actuar, dependiendo del caso particular podemos observar variaciones en la conducta ejecutada por las personas, como: esperar un tiempo o cruzar con una marcha más rápida; en cualquier caso, estas acciones están determinadas por algunos aspectos del conocimiento que se tiene acerca de: movimiento relativo, distancia o relaciones espaciales, respuesta motriz de la persona, aceleración, velocidad, otros; los cuales conformaran el esquema empleado para *cruzar la calle* y guían el comportamiento. En síntesis, en cada clase de situaciones se activan unos conceptos-en-acción y teoremas-en-acción, los cuales son sólo una parte de los conceptos y teoremas que posee la persona en su estructura de conocimientos.

En el ámbito educativo, en particular en física, se enfatiza mucho la necesidad de resolver problemas, para lo cual el concepto de esquema fundamenta y justifica la importancia dada a esta actividad en el aprendizaje de las ciencias. Los estudiantes ingresan con un repertorio de esquemas que han desarrollado con anterioridad, algunos en el ámbito educativo y otros en la cotidianidad, los cuales son eficientes para resolver ciertas situaciones, y en algunos casos, también resultan efectivos, como el ejemplo del esquema empleado para *cruzar la calle*. Ante situaciones referidas a cinemática que involucren el movimiento relativo y resultan ser novedosas, es decir, para las cuales los estudiantes no han desarrollado un esquema específico, ellos pueden activar esquemas vecinos, como el de *cruzar la calle*, a los que subyace como mencionamos antes, una conceptualización, generalmente implícita, que puede convertirse en precursor del desarrollo de conocimientos acerca de conceptos y teoremas de cinemática. De ahí, la importancia que tiene para la enseñanza el explicitar los conocimientos-en-acción, y en consecuencia, los esquemas, que subyacen a la actuación de los estudiantes frente a situaciones dadas. Es a partir de ellos que se podrán desarrollar nuevos esquemas o mejorar los existentes, promoviéndose el desarrollo conceptual.

Es importante entonces analizar con más detalle la composición de un esquema. En general, un esquema es una entidad dinámica funcional que contiene cuatro

elementos, que se han denominado *ingredientes* (Vergnaud, 1990; 1996; 1998; Moreira, 2002, 2004). Éstos son:

- *Metas y anticipaciones*: Dado que los esquemas están asociados a clases de situaciones, ante la necesidad de resolver una situación, los sujetos pueden reconocer la finalidad de la misma, y eventualmente, anticipar resultados. Por ejemplo, en un problema de un carrito que se mueve en un plano ligeramente inclinado, la meta que identifica un estudiante puede ser determinar el estado de movimiento de un objeto sometido a la acción de varias fuerzas, con lo cual es posible que anticipe como resultado, que la aceleración sea nula si la inclinación del plano permite que la componente del peso equilibre a la fuerza de fricción cinética.
- *Reglas de acción*: El esquema contiene un conjunto de descripciones de comportamiento del tipo “sí... entonces”, asociadas a una conceptualización determinada, que permiten al sujeto generar una secuencia de acciones; es decir, reglas de búsqueda de información y control de resultados de la acción. Por ejemplo, en el esquema para resolver la situación anterior se puede encontrar la siguiente regla: Dibuja un sistema de coordenadas cartesianas con el origen en la posición inicial de la partícula y un conjunto de ejes para representar la trayectoria del movimiento, o representa en un sistema de coordenadas cartesianas las fuerzas que actúan sobre el objeto y efectúa la sumatoria de las componentes de las fuerzas en cada eje, si la sumatoria de las componentes es diferente de cero escribe la ecuación de movimiento considerando la aceleración diferente de cero en la dirección donde ocurre el caso. Las reglas de acción pueden resultar o no, apropiadas y efectivas a la situación específica desde una perspectiva científica.
- *Invariantes operatorios, IO*: Son los elementos que orientan al sujeto en la selección, búsqueda y control de la información relevante para la situación, para así inferir la meta, seleccionar las variables relevantes y organizar las reglas de acción adecuadas al caso. Estos invariantes son conceptos-en-acción y teoremas-en-acción, los cuales contienen una parte explícita mediante algún tipo de representación, que se apoya en una conceptualización implícita que resulta ser operatoria ante la situación (Vergnaud, 1990; Moreira 2004). Para la enseñanza son estos aspectos los que interesan investigar, ya que a partir de ellos los estudiantes construyen su conocimiento explícito. Desde la perspectiva de la ciencia, unos invariantes

operatorios inadecuados pueden resultar en acciones equivocadas, es decir, aún cuando los IO hayan sido eficientes para el estudiante, pues resolvió el problema, alcanzó la meta, puede que no resulten efectivos, porque los resultados obtenidos no son válidos en el contexto científico. Siguiendo el ejemplo anterior, desde la ciencia, los conceptos-en-acción relevantes para este problema podrían ser: *fuerza (peso, normal, fricción,...), masa, aceleración, partícula, sistema de coordenadas, superposición*, otros; y entre los teoremas-en-acción se podrían encontrar: - *La suma de fuerzas es cero – El peso actúa en la dirección vertical - Las fuerzas se suman como vectores*. En este tipo de situaciones, las investigaciones han reportado el uso por parte de los estudiantes de teoremas-en-acción que no se corresponden con lo establecido en la ciencia, como por ejemplo: *los cuerpos que se mueven con velocidad constante o variable, están bajo la acción de fuerzas (sumatoria de fuerzas que actúan sobre objeto diferente de cero)*; con lo cual los sujetos resuelven la situación planteada pero llegan a resultados científicamente no aceptados.

- *Posibilidades de inferencias*: La interacción que se efectúa entre los tres ingredientes anteriores durante la actividad frente a la situación es la que permite generar razonamientos, evaluar “aquí y ahora” las reglas y anticipaciones a partir de las informaciones e invariantes operatorios que dispone el sujeto, y tomar decisiones. Siguiendo el ejemplo tenemos *¿Es la sumatoria de las fuerzas igual cero?*, de ser *sí* la respuesta, el sujeto decide que *la aceleración del objeto es nula*.

De lo anterior, se desprende que un esquema no es un estereotipo, ya que los elementos que se activan y las acciones que se derivan son dependientes de la situación y del sujeto; en consecuencia, se considera una entidad temporal y funcional. Pero, por otra parte, los esquemas permiten la adaptación a las situación dado su carácter universal, lo cual es posible porque: las reglas son condicionales y los invariantes tienen cierto grado de generalidad, permitiendo generar inferencias eficientes para cada caso (Vergnaud, 1996).

### **5.1.2 Invariantes operatorios**

Los invariantes operatorios resultan ser el ingrediente central de los esquemas, y están compuestos por conocimientos-en-acción del sujeto en situación: conceptos-en-acción y teoremas-en-acción. Estos conocimientos-en-acción son implícitos pero están asociados a conceptos y teoremas explícitos, es decir, a representaciones simbólicas

externas. Los conceptos y teoremas de la ciencia son explícitos, por lo cual, pueden ser discutidos y evaluados en cuanto a su pertinencia y validez. En la enseñanza de la ciencia, se espera que los estudiantes desarrollen conceptualizaciones cada vez más próximas a las de la ciencia, las cuales estarán conformadas por una parte no visible, los invariantes operatorios, y una parte visible que se corresponde con el cuerpo de conocimientos científicos: los conceptos y teoremas científicos.

Los *conceptos-en-acción* son una pequeña parte de la información que poseemos, ellos corresponden a objetos, clases, predicados, condiciones, categorías de pensamiento. Estos conceptos en si mismos no son verdaderos, ni falsos; sólo pueden resultar relevantes o no para la selección de información en la situación. Los *conceptos-en-acción* son los ingredientes de los teoremas (Vergnaud, 1998, p. 173)

Los *teoremas-en-acción* son propiedades que les dan a los conceptos su contenido, proposiciones construidas con los *conceptos-en-acción* referidos a la situación, por lo cual, resultan verdaderos o falsos, y permiten hacer inferencias u operaciones para alcanzar la meta (Vergnaud, 1990)

Como lo expresa Moreira (2004), el concepto de esquema tiene un gran interés teórico ya que establece la conexión entre las conductas y la representaciones internas de los sujetos, y por lo tanto sus conceptualizaciones. Sin embargo, el ingrediente del esquema que más relevancia tiene en esta conexión, son los invariantes operatorios, pues ellos articulan la conducta (práctica) con las conceptualizaciones del sujeto (teoría). Los IO son el sistema de *conceptos-en-acción* (objetos, atributos, relaciones,...) y de *teoremas-en-acción* disponibles en el sujeto, subyacentes a su conducta.

Para dar cuenta de los invariantes operatorios es necesario el uso de categorías de conocimiento explícito, es decir, de diferentes formas de representación externa, lingüísticas, gráficas o gestuales, que los pongan en evidencia. En este proceso, los IO se transforman en conceptos y teoremas explícitos, los cuales permiten analizar el estatus del conocimiento del sujeto. De allí la importancia que tiene la representación externa en la investigación y en la enseñanza.

Por tal razón, con la finalidad de estudiar la comprensión y el desarrollo conceptual que alcanzan los estudiantes, Vergnaud (1990, 1997) considera al concepto como central, siendo éste mucho más que su definición, pues ésta no puede separarse de su función y sus propiedades, las cuales sólo es posible poner en evidencia frente a

diferentes clases de situaciones. En tal sentido, este autor (ibidem) establece que un **concepto** (C) está conformado por tres conjuntos, (S, I, R):

- Las *situaciones* (S) que le dan sentido al concepto; en ellas el concepto resulta útil y significativo, son su **referente**.
- Los *invariantes* (I), es decir, las propiedades específicas del concepto que permiten analizar y actuar frente a las diferentes clases de situaciones. Son los responsables de la operacionalidad de los conceptos, y le dan **significado** al concepto frente a la situación.
- Las *representaciones simbólicas* (lingüísticas, gráficas o gestuales) (R) que se emplean para explicitar los invariantes operatorios, es decir, proposiciones que representan las propiedades, funciones y procedimientos asociados al concepto en tales situaciones, las cuales constituyen el **significante** (Vergnaud, 1998; Rodríguez y Moreira, 2002).

Este planteamiento es de vital importancia para el desarrollo de conceptos en el aprendizaje, pues plantea la necesidad de atender en simultáneo estos tres conjuntos. Además, plantea la necesidad de experimentar con la operatividad de los conceptos en una diversidad de clases de situaciones, a fin de que el sujeto pueda ir progresivamente incrementando el nivel de complejidad y significatividad de los conceptos, es decir, ampliando las tríadas de *referente-significado-significante* asociadas con el concepto. Por ello, como señala Moreira (2004), el sentido no está en las “*situaciones en sí mismas*”, sino en la “*relación del sujeto con las situaciones y con los significantes*”, es decir, con los esquemas.

Esta concepción de concepto permite establecer un gradiente jerárquico tanto de las situaciones, en términos de la complejidad de los IO que involucran y las reglas de acción apropiadas, como de las representaciones en términos de la complejidad de las proposiciones o la cantidad de elementos y relaciones en el caso de las no lingüísticas. Este aspecto es relevante para la organización de la enseñanza. Sin embargo, el establecimiento de estas jerarquías es un problema de investigación que tiene que ver con el área de conocimientos y con los estudiantes en acción dentro de la misma.

### 5.1.3 Situaciones

Hasta ahora se ha mencionado el término Situación, pero ¿a qué se considera como tal? Una situación constituye una tarea compleja que puede ser analizada como combinación de subtareas. La dificultad de las situaciones derivada de la forma del enunciado, la cantidad de tareas y elementos de éstas, no es lo fundamental. En esta teoría tiene prioridad, la complejidad de las conceptualizaciones requeridas para abordar cada tarea, y para combinarlas y relacionarlas; por ello, es necesario conocer la naturaleza y las propiedades de cada una de ellas. Esto implica en términos de investigación, la identificación de los conceptos y teoremas con los cuales se puede resolver la situación y los conceptos-en-acción y teoremas-en-acción que emplean los sujetos al resolverlas.

Lo anterior muestra que, para Vergnaud (1990), el concepto de situación está restringido a la dimensión cognitiva, es decir, a los procesos cognitivos y a las respuestas del sujeto como función de la situación. Sin embargo, ello no descarta la importancia de otras dimensiones como la afectiva y la social, para darle una significación a la situación, tal como se plantea en el aprendizaje o cognición situada (Brown y otros, 1989)

Teniendo en cuenta lo expresado, en el marco de la teoría de campos conceptuales surgen dos aspectos relevantes para la investigación en didáctica, como son:

- *La variedad de situaciones*: Cada situación pone en acción algunas propiedades y funciones de los conceptos asociados, denominados los conceptos-en-acción y teoremas-en-acción, y algunas reglas de acción, lo que pareciera darle un carácter de singularidad a cada una. Sin embargo, esta variedad es posible organizarla en clases de situaciones dentro de un campo conceptual dado. En este contexto cabe preguntarse ¿cuáles son las situaciones y clases de situaciones susceptibles de darle sentido a los conceptos y procedimientos que se quieren enseñar en un campo conceptual?

- *La historia*: Los estudiantes van modelando sus conceptualizaciones (conocimientos) de manera progresiva, frente a las situaciones que van encontrando y dominando, tanto dentro como fuera del ámbito educativo, este proceso es lento y complejo, presentando avances y retrocesos, lo cual lleva a cuestiones como: ¿qué secuencias de situaciones facilitarán la construcción conceptual en un campo conceptual? ¿cómo facilitar el

proceso de reformulación de las situaciones de la vida cotidiana a situaciones de orden educativo que permitan el desarrollo conceptual en un área de conocimientos?.

Por otra parte, Vergnaud (1990), según la operatividad que tenga el sujeto frente a una situación, clasifica a éstas en dos tipos, a saber:

- *Situaciones conocidas*: Se refiere a aquellas para las cuales el sujeto encuentra en su repertorio de conocimientos de manera relativamente inmediata, un esquema para abordarla, el cual resulta eficiente, y en algunos casos, hasta efectivo, como ocurre con los algoritmos. En estos casos, se observan conductas bastante automatizadas que están organizadas por el esquema que corresponde a esa clase de situación, aunque siempre hay un grado de decisión consciente que le permite identificar la particularidad de la situación.

- *Situaciones novedosas*: Se refiere a aquellas situaciones frente a las cuales el sujeto no dispone en su repertorio de conocimientos estructurados para abordarlas, es decir, no encuentra un esquema presto para aplicarlo, por lo cual recurre a esquemas vecinos que se supone descompone y recompone hasta construir un nuevo esquema, en un proceso de adaptación. En estos casos se da la reflexión, incerteza, intentos fallidos u otras acciones, que conducen finalmente al logro de la meta o al abandono de la tarea. Ante estas situaciones, los esquemas entran en una fase de competencia, de acomodación, con lo cual surgen nuevos esquemas para nuevas situaciones.

En esta teoría resulta imprescindible para el aprendizaje que los sujetos actúen, es decir, que hagan su conocimiento operatorio. Y, en especial, resultan de interés las situaciones novedosas, pues es a partir de ellas como se puede incrementar el nivel de desarrollo conceptual de los individuos. Sin embargo, existe un vacío frente a estos casos, ya que si los esquemas se activan frente a patrones reconocidos en situaciones similares a los de su clase, ¿cómo es posible que una situación novedosa, es decir, no reconocida con ningún patrón, pueda activar esquemas de la memoria a largo plazo?

Una respuesta tentativa a este dilema se basa en los Modelos Mentales (Rodríguez y Moreira, 2002). Estos autores plantean que al momento de enfrentarse a una situación nueva se construyen representaciones en el momento, del tipo Modelos Mentales, MM, en el sentido de Johnson Laird (1983), los cuales operan en la memoria a corto plazo como modelos de trabajo para la percepción y solución de la tarea. Los MM se convierten en mediadores entre la situación y los esquemas; ya que éstos se

mantienen como estructuras en la memoria a largo plazo (el conocimiento de la persona) y se activan frente a patrones comunes a través de los invariantes operatorios, es decir, se evocan frente a situaciones similares; por ello se considera que los esquemas tienen cierto grado de estabilidad.

Así, desde el conocimiento del sujeto se activan uno o más "tokens" que guían el proceso de elaboración y recursividad de los MM. En la medida en que se determinan los elementos de la situación que son relevantes para el sujeto (conceptos-en-acción) y las propiedades que según el sujeto son verdaderas respecto a la situación (teoremas-en-acción), se van identificando, progresivamente, los elementos de un nuevo esquema. Las inferencias y predicciones que se producen a lo largo del proceso de dar cuenta de la situación, están fuera de este esquema en construcción, se producen en los MM en el ámbito de las representaciones en la memoria a corto plazo. Sin embargo, se estima que en la familia de MM generados, se pueden diferenciar los elementos transitorios que se emplean para abordar la situación que luego son desechados, de aquellos que se repiten en la recursividad y se consideran más estables. Estos elementos equivalen a IO, y de haber resultado efectivos para abordar la situación, conformarán el esquema para una nueva clase de situaciones.

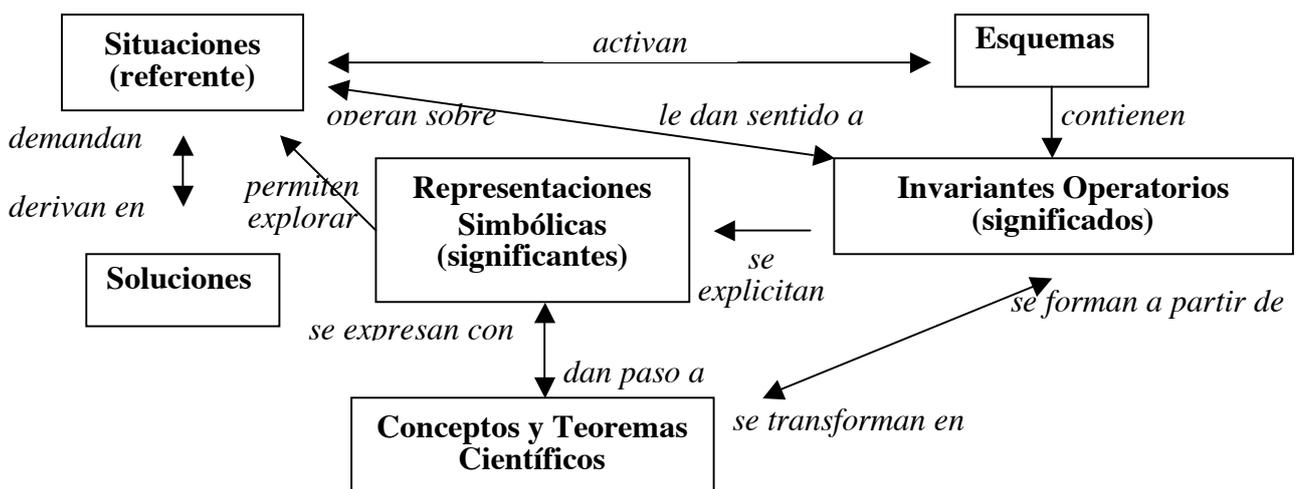
Por lo tanto, una situación nueva la abordamos con Modelos Mentales; ello, en un proceso adaptativo con ese mundo, le permite al individuo construir conocimientos cuyos precursores son los IO, es decir, los elementos que permanecen en la familia de MM. Este proceso adaptativo, implica el manejo de una variedad de conceptos con diferentes niveles de complejidad, viable mediante la recursividad de los MM; todo ello favorece la modificación y reestructuración de los esquemas subyacentes. Además, los MM se construyen para la comprensión, dándole al sujeto una capacidad explicativa y predictiva, de manera temporal; es decir, ellos son descartados una vez cumplida su papel o función. A efecto del aprendizaje, interesa la identificación de los IO que se mantienen en la recursividad de MM elaborados para abordar la situación nueva, pues son precursores para la construcción de nuevos esquemas asociados a nuevas situaciones.

En síntesis, la teoría de los Campos Conceptuales de Vergnaud es una teoría cognitiva pues describe el proceso implícito al desarrollo conceptual, pero al mismo tiempo es pragmática, pues plantea que el aprendizaje se produce con la aplicación de los conceptos a situaciones dadas (Vergnaud, 1996). En consecuencia, un concepto es

más que su definición; pues también incluye una variedad de funciones y propiedades operativas según diferentes clases de situaciones. El proceso de actuar frente a las situaciones mediante los conceptos-en-acción y teoremas-en-acción que activa el individuo, demanda que éstos se hagan explícitos, para lo cual es necesario que los conceptos también tengan incorporados formas de representación simbólica (lingüísticas, gráficas, gestuales, otros).

La teoría plantea entonces dos niveles: uno implícito donde operan los esquemas que contienen el conocimiento-en-acción, IO, el cual incluye tanto el saber decir como el saber hacer operando en forma conjunta (Vergnaud, 1996); y otro explícito donde encontramos los sistemas de representación, los conceptos y teoremas de un campo conceptual determinado, y las situaciones reales. En la medida en que el sujeto logra explicitar los IO mediante representaciones externas simbólicas (categorías, oraciones, textos, otros), va incorporando a sus estructuras de conocimientos conceptos y teoremas del campo conceptual externo, como el científico. Estas interrelaciones entre el mundo implícito y explícito son representadas en el mapa de la Figura 5-1.

**Figura 5-1.** Representación de la interrelación entre lo implícito y lo explícito según la teoría de Campos Conceptuales expuesta por Gerard Vergnaud.



#### 5.1.4 Campos Conceptuales

Entre los conceptos básicos de esta teoría se tiene el de Campo Conceptual (CC), al que se concibe como *“un conjunto informal y heterogéneo de problemas, situaciones, conceptos, relaciones, estructuras, contenidos y operaciones de pensamiento, conectados unos a otros y, probablemente, entrelazados durante el proceso de adquisición”* (Vergnaud, 1982). En otras palabras, el concepto de CC está definido *“como un conjunto de problemas y situaciones cuyo tratamiento requiere conceptos, procedimientos y representaciones de tipos diferentes, pero íntimamente relacionados”* (Moreira, 2004).

En este contexto se torna fundamental para el aprendizaje en el aula identificar y jerarquizar el contenido a aprender en términos de campos conceptuales, es decir, de clases de situaciones, y de conceptos y teoremas, necesarios para su solución. En la enseñanza de las ciencias, es una ilusión pensar que una exposición magistral ordenada, clara y rigurosa desde la perspectiva de la ciencia con relación a un concepto permite que los estudiantes lo aprendan. En el marco de la teoría de desarrollo conceptual expuesta por Vergnaud, el aprendizaje ocurrirá en la medida en que el sujeto resuelva una diversidad de problemas que permitan la utilización de diferentes propiedades del concepto; en el contexto educativo la mediación del docente durante este proceso permitirá que el aprendiz logre hacer explícito su conocimiento-en-acción, y a partir de él, discutirlo, ampliarlo y reconstruirlo. En la medida en que se vaya incrementando la complejidad de los problemas planteados, es decir, que se vayan incorporando nuevas situaciones de aplicabilidad del concepto, los estudiantes, progresivamente, irán dominando nuevas clases de situaciones e irán enriqueciendo sus esquemas conceptuales, de tal manera que el uso de su conocimiento no científico, generalmente funcional para las situaciones cotidianas, sea discriminado frente al desarrollo de los conceptos científicos que se quieren enseñar; justamente, ésta diferencia es la que no es considerada en las clases magistrales.

La clasificación y selección de las situaciones para colocar a los estudiantes en acción es importante para la enseñanza; para ello se requiere hacer explícitos los invariantes operatorios de los que aprenden enfrentándolos a diferentes clases situaciones, y en función de ello, organizar conjuntos de problemas clasificados y jerarquizados según su efectividad para el aprendizaje de nuevos significados, es decir, para el desarrollo conceptual. En el ámbito educativo, el docente será un mediador que

intenta intervenir en el proceso de construcción de nuevos esquemas con acciones como: ayudar a clarificar la meta; promover la explicitación de los invariantes operatorios y el análisis de su eficiencia y efectividad; intervenir en la construcción de nuevos conceptos o nuevas significaciones en torno a conceptos conocidos; modelar el uso de nuevas reglas de acción apropiadas; emplear y modelar el uso de diferentes formas de representación simbólica, entre otras (Vergnaud, 1990; Moreira, 2002).

En este sentido, si se proponen los trabajos de laboratorio como situaciones problemáticas que se enmarcan en un campo conceptual, y se centra la atención en los procesos cognitivos que desencadenan las diversas tareas propias del quehacer experimental científico demandadas por la situación, en vez de centrar el análisis exclusivamente en el aprendizaje de los procedimientos científicos propios de la actividad científica; la teoría de Campos Conceptuales pareciera ser un referencial teórico fructífero para comprender el aprendizaje en el trabajo de laboratorio en el aula de física como un proceso de desarrollo conceptual. A continuación se hará un análisis del trabajo de laboratorio en términos de las tareas involucradas y la complejidad de éstas tanto en el dominio teórico-epistemológico como en el dominio metodológico.

## **5.2 EL TRABAJO DE LABORATORIO: ESPACIO PARA EL APRENDIZAJE DE LA INTERRELACIÓN TEORÍA-PRÁCTICA**

El trabajo de laboratorio en la enseñanza es considerado, por muchos docentes, como una actividad que promueve una cantidad muy diversa de aprendizajes (Kerr, 1963, citado en Barberá y Valdés, 1994; Lynch, 1987, citado en Hodson, 1994; Hodson, 1994; Andrés, 2002). Sin embargo, tradicionalmente, se observa en la práctica educativa un fuerte énfasis en el aprendizaje de destrezas y técnicas de recolección y procesamiento de datos experimentales, con poca o ninguna relación explícita con referentes teóricos o modelos, y con una falta de claridad en cuanto a los objetivos de aprendizaje que se esperan lograr con el trabajo práctico. La falta de coherencia entre la finalidad asignada al laboratorio en términos de aprendizaje y lo que se hace en la práctica, tanto en el aula (Andrés, 2002) como en la investigación (Tobin y otros, 1994), no ha permitido evaluar su efectividad en la enseñanza; en tal sentido, resulta

una necesidad precisar el rol de TL en el contexto del aula de ciencia. Al respecto encontramos algunos aportes importantes.

Diversos autores (Hodson, 1984; Gil y otros, 1991; Duit, 1995; Barberá y Valdés, 1996, Seré, 2002; entre otros) ratifican hoy en día la importancia del trabajo de laboratorio en la enseñanza de las ciencias, por considerarlo el espacio que permite integrar lo conceptual y lo fenomenológico, establecer una conexión dialéctica entre datos y teoría, y sobre todo, promover el desarrollo de una visión acerca de la naturaleza de la ciencia más cercana al quehacer científico.

Seré (2002), quien coordinó un estudio sobre el laboratorio en educación secundaria superior y universitaria introductoria, realizado por seis países europeos, plantea que se debe explicitar la intención didáctica de cada actividad de laboratorio diseñada, tanto con fines de enseñanza como de investigación. Al respecto propone que las intenciones podrían expresarse como un conjunto de objetivos relacionados con lo conceptual, lo epistemológico y lo procedimental, dada la pertinencia de esta categorización en la educación (ibidem).

Por su parte, Duschl (2000) plantea que la actividad de la ciencia es un proceso iterativo hacia adelante y hacia atrás entre: evidencia, modelo y teoría; en consecuencia, considera que hacer ciencia en el aula implica producir modelos y evaluar el ajuste de los modelos con la evidencia y las teorías, con lo cual, aunque el autor no lo verbaliza, le impone demandas claras al trabajo de laboratorio.

En ciencia es difícil pensar en una actividad experimental desligada de las ideas o componentes teóricos representativos o explicativos del mundo físico. Sin embargo, la interrelación teoría-experimento puede ser vista desde diferentes posiciones epistemológicas (Sére, 2002; Andrés y Pesa, 2003; capítulo 4 de este trabajo), las cuales se reflejarán en la acción didáctica. En efecto, una de las formas de expresión de la acción didáctica en el marco de los TL ha sido definida como *la práctica ayuda a aprender la teoría*, lo cual ha sido traducido en actividades de laboratorio dirigidas a *verificar o descubrir relaciones teóricas o conceptos* (Sére, 2002). En estos casos, generalmente, el énfasis está puesto en una perspectiva de ciencia que considera el conocimiento como algo estable y verdadero, las leyes físicas como generalizaciones inductivas y los modelos como réplicas de la realidad. Desde esta posición, lo metodológico no es parte del conocimiento científico, sólo es necesario para producirlo,

por ello en las sesiones de laboratorio se enseñan las técnicas y destrezas, vacíos de conceptos y teoremas e independientes de los conocimientos teóricos.

Otra forma de entender la relación teoría-práctica en el laboratorio es considerar que *la teoría se emplea en la práctica* en el sentido de que el mundo de los objetos es inseparable del mundo de los modelos. En el contexto educativo, esta posición implica que las actividades experimentales que se proponen requieren de los estudiantes un conocimiento previo en relación a la teoría y una toma de conciencia del rol de ésta en los diferentes momentos del trabajo de laboratorio (Sére, 2002). Desde la didáctica, esto puede implicar *hacer otra vez el trabajo de la ciencia*, en donde el laboratorio resulta una aproximación al quehacer científico y el *hacer* no implica la manipulación sin significado sino mas bien un *hacer intelectual*. Así, se abordarían situaciones problemáticas en el marco de paradigmas de la ciencia aceptadas para el momento, para cuya resolución se recorrería un camino que lleva a la producción de declaraciones de conocimiento y de valor que serían sometidas a la crítica entre pares; cabe destacar que aunque estos conocimientos no son nuevos para la comunidad científica, sí lo serían para los estudiantes, por lo que estaría produciéndose aprendizaje en los dominios teórico, epistemológico y metodológico.

En esta dirección, diversos autores (Gil y otros, 1991; Salinas, 1994; Hodson, 1994; otros) han propuesto los trabajos prácticos como *investigaciones*, en donde la metodología científica se hace explícita y está ligada de manera indisoluble a los marcos conceptuales en los cuales se inserta el trabajo práctico. Este enfoque se contrapone a las tradicionales prácticas de laboratorio centradas en una concepción inductivista y dirigida al aprendizaje de destrezas científicas. Sin embargo, dentro de esta nueva tendencia se observan diferencias importantes entre las diversas propuestas.

Por un lado encontramos la propuesta que plantea el trabajo de laboratorio en el aula basada en problemas abiertos en analogía a la investigación científica, en donde, la metodología científica se hace explícita y está ligada de manera indisoluble a los marcos conceptuales en los cuales se inserta el trabajo práctico, intentando producir cambio metodológico y cambio conceptual en los estudiantes, bajo la premisa de que la producción de conocimientos en la ciencia es equivalente al aprendizaje de la ciencia (Gil y otros, 1991). Las sugerencias dadas a estudiantes y profesores para enfrentar los

problemas abiertas derivadas de este enfoque, se traducen en secuencias didácticas<sup>1</sup> que siguen la metodología científica, tal como se evidencia en el ejemplo ilustrativo expuesto por Gil y Valdés (1996). Así, el aula de clases se convierte en un espacio de investigación científica, donde el profesor es el investigador experto que orienta a los estudiantes, los investigadores noveles que trabajan en un contexto de ciencia normal en el sentido khuniano. En este modelo de implementación didáctica el foco no está centrado en los factores inherentes a los procesos cognitivos del aprendizaje y los obstáculos de orden cognitivo que confrontan los estudiantes al llevar a cabo cada una de las actividades que se les proponen. El énfasis del modelo está más centrado en los aspectos epistemológicos y actitudinales. Esta propuesta de laboratorio como investigaciones a partir de problemas abiertos enfatizan en el aprendizaje de los procesos científicos relacionados con esta actividad. Sin embargo, con frecuencia, los estudiantes no tienen experiencia en la resolución de este tipo de situaciones desde la perspectiva de la ciencia; y como ha sido reportado en diversos estudios, su visión acerca de la naturaleza de la ciencia está marcada por una epistemología centrada en lo sensorial (Driver y otros, 1996). Por lo que, al enfrentarlos a problemas demasiado abiertos se corre el riesgo de que fracasen por falta de conocimientos, y en consecuencia, el trabajo a realizar no tenga significado y su ejecución sea de manera algorítmica.

Además, este aspecto ha resultado controversial para autores, como Kirschner (1992), quienes critican que los procesos de la investigación científica se consideren como equivalentes a los procesos de aprendizaje, ya que, parece no existir una conexión epistemológica entre hacer ciencia y aprender ciencia, y por lo tanto, enseñar ciencia. Además, hay siempre que distinguir entre educación científica y entrenamiento científico. La escuela se debe ocupar de la educación científica. En consecuencia, como lo plantea el grupo de investigación acerca de los trabajos de laboratorio dirigido por Sére (2002), parece que la enseñanza de los aspectos inherentes a los TL continúa siendo un problema de investigación. En este sentido, se ha considerado que si además de considerar los aspectos epistemológicos para guiar el proceso de TL, se toman en cuenta los procesos cognitivos inherentes al aprendizaje durante esta actividad, sería posible derivar pautas e indicadores relevantes para orientar la enseñanza.

---

<sup>1</sup> Secuencia de actividades científicas: Discusión cualitativa, observación, proposición de conjeturas, elaboración de diseños, análisis de resultados, perspectivas, integración y comunicación.

Por su parte, Hodson (1994) aunque plantea que los procedimientos de la ciencia se aprenden en momentos distintos a los conocimientos teóricos, propone que sea de manera integrada. A tal fin establece tres grandes objetivos de aprendizaje para la enseñanza de las ciencias, como son: *Aprender ciencia*, donde las actividades de laboratorio tipo demostración pueden contribuir al aprendizaje de los conocimientos científicos; *aprender acerca de la ciencia*, dirigido a desarrollar una visión acerca de la naturaleza de la ciencia, aspecto que considera tanto implícito en: materiales, actividades, discursos, acciones de todas las clases de ciencia y en situaciones no formales; como explícito, en los trabajos de laboratorio (su ejecución debe reflejar un modelo de ciencia que sea compartido por la comunidad actual). Por último, *aprender a hacer ciencia*, visto como el momento en que se aprende a investigar, el cual sería de interés para aquellos estudiantes que de alguna manera tengan que ejercer este rol; el autor plantea que los estudiantes noveles trabajan en proyectos de investigación bajo la orientación de investigadores expertos para su aprendizaje (ibidem). Como se puede ver, este autor, a diferencia de los anteriores (Gil y otros, 1991), propone el trabajo experimental para el aprendizaje de la ciencia a dos niveles, uno que está dirigido a la educación científica, y otro, con miras a formar investigadores.

En el contexto de que la *teoría se emplea en el laboratorio* y considerando a éste un espacio didáctico donde se *hace otra vez el trabajo de la ciencia*, el laboratorio estará fundamentalmente dirigido a objetivos de aprendizaje de conocimientos propios de la actividad experimental pertinentes a la situación. Es decir, conocimientos del dominio metodológico a la luz de marcos teóricos y epistemológicos de referencia. Conocimientos estos que se requieren en procesos típicos del quehacer experimental en la ciencia como: generar predicciones, formular hipótesis, seleccionar métodos, diseñar secuencias experimentales, recolectar, procesar, analizar e interpretar datos, elaborar síntesis y conclusiones, y derivar nuevas preguntas o acciones para seguir profundizando e investigando.

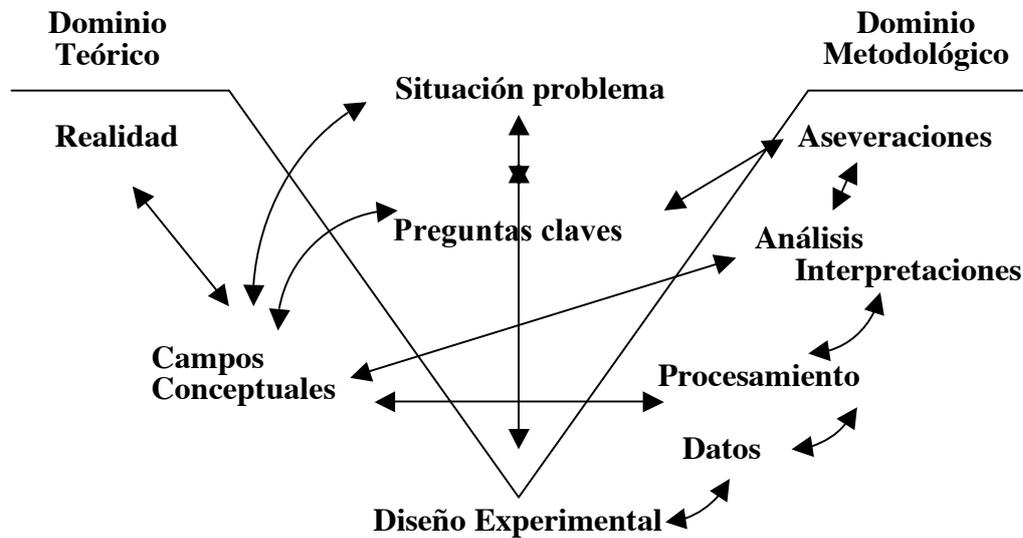
Si consideramos que estos procesos del dominio metodológico son una tarea compleja desde lo cognitivo, que demandan conceptos y procedimientos propios de ese dominio a la luz de algún referencial teórico para su resolución, entonces, los estudiantes deben aprender esos conocimientos. En consecuencia, existe un cuerpo de conocimientos propios del dominio metodológico que deben estar declarados como metas explícitas de aprendizaje a promover en los TL.

Por otra parte, como cada trabajo de laboratorio (TL) se enmarca en un área de conocimientos teóricos que deberán ser utilizados por los estudiantes, es pertinente hacer explícito algunos objetivos de aprendizaje relacionados con ellos. En particular, en aquellos aspectos en los cuales se han observado dificultades en el desarrollo conceptual del estudiante. Así, el cuerpo de conocimientos metodológicos propios del TL estará interrelacionado con el cuerpo de conocimientos teóricos, y ambos en función del problema en estudio. También es posible que se requieran conocimientos de otros campos demandados por procedimientos experimentales más generales requeridos en el TL, como es el caso de la teoría de errores experimentales, o de los principios de funcionamiento inherentes a los equipos e instrumentos de medición. Todo ello contribuye a dar significado a los datos que se registran y favorece la interpretación de resultados en marcos de referencia explícitos.

Dado que en la ciencia las interrelaciones entre teoría, modelos y experimentos ocurren de manera implícita, planteamos como necesario que en el contexto educativo se haga explícita. Con miras a facilitar la toma de conciencia de esta dinámica, se ha representado en la V epistemológica de Gowin (Novak y Gowin, 1984) (Figura 5-2).

Además, la actividad experimental en el aula entendida como *hacer otra vez*, parece ser un espacio importante para el desarrollo de una imagen de la ciencia cónsona con posturas epistemológicas actuales (Hodson, 1994; Leach, 1999; Leach y otros, 2001; Duschl, 2000). Para ello, es necesario que *la comprensión de la naturaleza de la ciencia, su metodología y los mecanismos sociales e institucionales que operan en ella* se planteen como objetivos de aprendizaje explícitos. Esto puede involucrar por ejemplo: i) reconocer que los modelos se basan en abstracciones (masa puntual, medios sin fricción, otros), y que éstos son construidos dentro de marcos teóricos para dar cuenta de los eventos del mundo real; ii) darse cuenta de lo que sería una apropiada explicación, argumentación; iii) reconocer las estrategias de indagación dentro de un campo disciplinar y evaluar los procedimientos para implementarlas en una situación particular; iv) reconocer qué mediciones deben repetirse y cuáles pueden ser seleccionadas para su análisis; iv) analizar la clase de datos que se producen en las investigaciones, así como, las técnicas más apropiadas para su recolección y análisis; v) identificar los elementos que pueden hacer que una conclusión sea considerada confiable; o, vi) valorar la contrastación de resultados entre pares o con otros grupos de trabajo.

**Figura 5-2.** Dinámica del desarrollo de un trabajo de laboratorio a partir de una situación problema, visto desde el quehacer científico.



En síntesis, cada trabajo experimental implica objetivos de aprendizaje asociados con: i) lo conceptual (conceptos, teoremas, representaciones, concebidos desde la teoría de CC), referidos al dominio metodológico y al dominio teórico interrelacionados, y en función de la situación problemática; y ii) con el dominio epistemológico. Los cuales es menester que estén explícitos para orientar la enseñanza y evaluar la efectividad de la misma.

Ahora bien, considerando que el proceso de aprendizaje no necesariamente es equivalente al proceso de producción de conocimientos en la ciencia (Kirschner, 1992), y que el aprendizaje tiene una manifestación explícita que se evidencia en los comportamientos de los estudiantes, y un componente implícito de orden cognitivo que es necesario comprender, para poder intervenir de manera intencional, nos preguntamos ¿cómo describir o explicar el proceso de aprendizaje durante el trabajo de laboratorio? ¿cómo facilitar el aprendizaje de los estudiantes en cada uno de los momentos del proceso de indagación que se lleva a cabo en el laboratorio? En este sentido, si concebimos la actividad experimental centrado en la resolución de situaciones problemáticas, el estudiante utilizará y complementará los esquemas que posee, para dar explicaciones, producir predicciones acerca de las mismas, tomar decisiones, otras, y con lo que implementará un plan de acción, cuyos resultados evaluará en función del conocimiento contenido en sus esquemas. Este macro proceso involucra resolver un

conjunto de tareas y subtareas que le son propias a la ciencia e implican una actividad cognitiva compleja, la cual se supone enriquecerá la estructura conceptual del individuo, mediante la asimilación o la adaptación de los esquemas, en un sentido amplio e integrado. En consecuencia, los TL son oportunidades para contribuir al desarrollo conceptual del estudiante. Lo que se espera en la enseñanza con los TL es que se construyan esquemas de conocimientos que se aproximen a los de la actividad experimental científica. Esto implica un avance en el manejo y en la comprensión de los principios para su aplicación a tareas experimentales, acompañado de un avance y refinamiento del lenguaje científico discriminándolo del lenguaje cotidiano.

Al considerar el trabajo experimental como un espacio en el cual el estudiante se enfrenta a un problema cuya solución, en términos generales, demandará la ejecución de un conjunto de tareas y subtareas que le son propias a la ciencia, es importante describir la actividad cognitiva que implica el enfrentarse a estos problemas. Para ello se ha elaborado un modelo que intenta interpretar el proceso de aprendizaje durante el desarrollo de un TL, con base en la teoría de Campos Conceptuales de Vergnaud (1990).

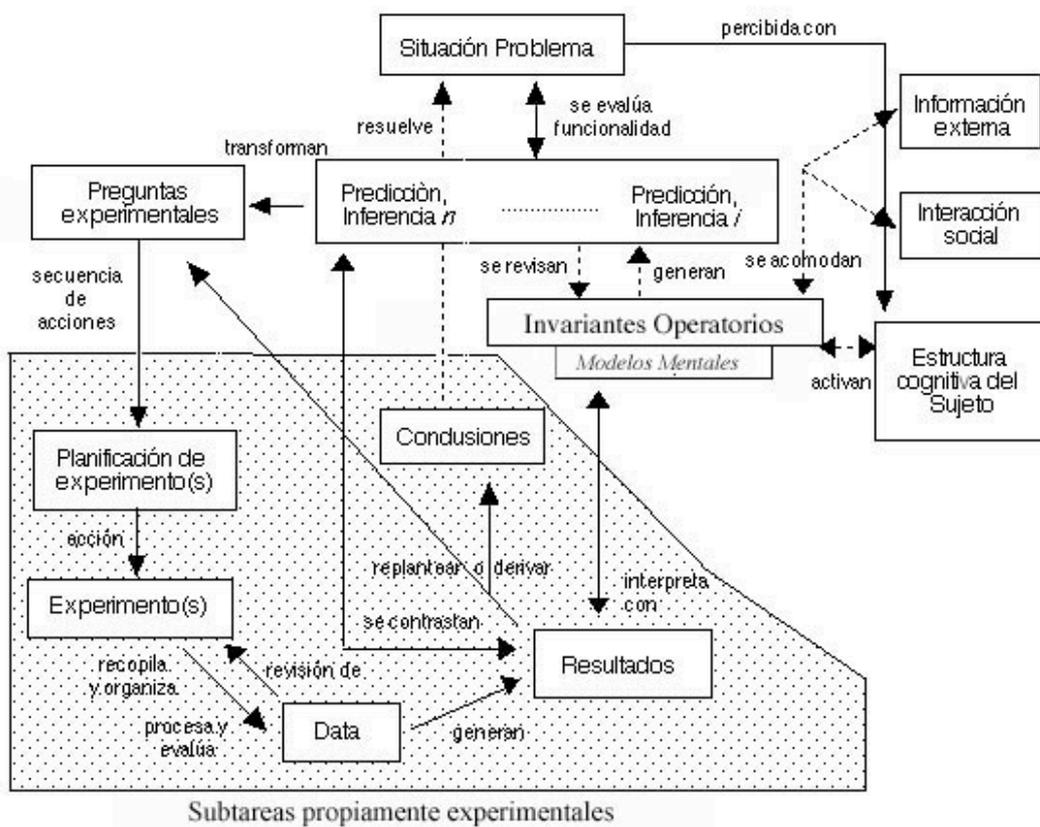
### **5.3 EL APRENDIZAJE EN EL LABORATORIO VISTO DESDE LA TEORÍA DE CAMPO CONCEPTUAL**

Como se indicó anteriormente, en el marco de la teoría de Campos Conceptuales las situaciones para los estudiantes, pueden resultar conocidas o novedosas. En el primer caso, son identificadas como miembros de una clase cuya solución o respuesta es conocida. En el segundo caso, la situación no puede ser asociada con ninguna clase conocida, por lo que, el estudiante no dispone de todas las competencias necesarias para abordarla; esto lo lleva a un proceso de reflexión y exploración en el que se activan diferentes esquemas que deben ser acomodados, separados o combinados, propiciando la construcción de nuevos esquemas para nuevas situaciones. El funcionamiento cognitivo del sujeto ante una clase de situaciones puede irse progresivamente automatizando, aunque siempre habrá un grado de decisión consciente que le permite identificar la particularidad de la situación (Vergnaud, 1990).

La teoría de CC de Vergnaud (1990) y los Modelos Mentales, MM, como complemento (Rodríguez y Moreira, 2002; Greca y Moreira, 2002) descrito

anteriormente, se han considerado pertinentes para la construcción de un modelo que describa **la dinámica del aprendizaje durante la resolución de problemas en el trabajo de laboratorio**, en el marco de una situación problemática de TL cuya resolución demanda enfrentar diversos tipos de tareas, cuyo abordaje resulta ser una actividad cognitiva compleja, para lo cual se requieren aprendizajes del Campo Conceptual propio de la actividad experimental científica, particularizados según el ámbito del dominio teórico con el que se relaciona la situación. A este modelo de aprendizaje lo denominaremos en adelante: MATLaF, y lo hemos representado en la Figura 5-3

**Figura 5-3.** Modelo Dinámico de Aprendizaje en los Trabajos de Laboratorio de Física (MATLaF).



En primer lugar, el enfoque de trabajo de laboratorio asumido se inicia con la exposición de los estudiantes ante situaciones-problema que se suponen les resultan novedosas, aspecto central en la teoría de CC (Vergnaud, 1990) para que se produzca

aprendizaje si se intenta la construcción significativa de esquemas científicos. Así, los estudiantes perciben las situaciones con sus esquemas y al no encontrar uno que se ajuste completamente al problema, entran en una fase de reflexión y duda (ibidem).

En consecuencia, los estudiantes construirán MM para abordarlas, los cuales evolucionan hasta alcanzar su funcionalidad (Moreira, 2002). Estos modelos son transitorios, pero contienen elementos del tipo Invariante Operatorio que se mantienen y que son los que determinan la identificación de la información pertinente al problema y la producción de predicciones e inferencias operativas para el trabajo de laboratorio, ya que se constituyen en una solución tentativa. Durante la elaboración recursiva de los MM pueden intervenir factores externos como: la interacción social con pares, la mediación del docente, la obtención de información desde otras fuentes, la realización de observaciones, el modelaje por parte del profesor y otros, que pueden incidir progresivamente sobre los invariantes operatorios, en el sentido de ir acercándolos al conocimiento científico explícito. Se supone que esta actividad cognitiva inicial cesa una vez que los sujetos se encuentran satisfechos con sus producciones y logran replantear el problema en términos de preguntas relevantes (primeras demandas de la situación), es decir, preguntas acerca del mundo físico según variables pertinentes al problema que van a resolver. Así, se inicia la construcción progresiva de nuevos esquemas para nuevas clases de situaciones que permitirán generar una primera secuencia de acciones. Resulta entonces relevante hacer explícitos los IO y estudiar cómo mediar la construcción de nuevos conocimientos a partir de ellos.

A partir de la reformulación de la situación, generación de las preguntas relevantes (meta inicial) y producción de la primera secuencia de acciones, se plantea la ejecución de nuevas subtareas, como: *diseñar experimento, realizar mediciones, recolectar y organizar datos, transformar y representar resultados*, entre otras, todas fundamentales del quehacer del laboratorio en la ciencia. Cada subtarea se puede considerar como una situación-problema, donde para resolverla se deberá construir una secuencia de acciones sobre la base de esquemas que pueden o no estar en la estructura de conocimientos del sujeto. En el último caso, la resolución de la subtarea resulta ser novedosa, por lo que su abordaje puede ser descrito como el proceso cognitivo presentado en el párrafo anterior.

Visto de esta forma, la solución de cada TL se basará en un esquema de asimilación general que a su vez contiene esquemas de asimilación más específicos interrelacionados entre sí. Las conceptualizaciones asociadas a los diferentes esquemas, desde lo científico, pueden referirse tanto al marco teórico-epistemológico como al marco metodológico, variando su énfasis de unas tareas a otras. Por otra parte, en la medida en que cada una de las subtarear requeridas para la solución de la situación, contengan elementos novedosos para el estudiante, es decir, promuevan la actividad cognitiva descrita anteriormente, se estarán propiciando nuevos aprendizajes.

En función de lo anterior, consideramos que si el trabajo de laboratorio parte de situaciones-problema, el aprendizaje en cada uno de los momentos identificados como propios del proceso experimental de la ciencia, puede ser comprendido y facilitado como se señala en el modelo, MATLaF. En atención a este modelo, hemos derivado una propuesta metodológica para el estudio de la efectividad de los TL en la enseñanza de la física.

#### **5.4 LA INVESTIGACIÓN SOBRE LOS TRABAJOS DE LABORATORIO EN FUNCIÓN DEL MODELO DE APRENDIZAJE PROPUESTO (MATLaF)**

La investigación relativa al proceso de aprendizaje ocurrido durante los trabajos de laboratorio puede orientarse con el modelo de aprendizaje propuesto, MATLaF. En el marco de un campo conceptual, CC, establecido, se diseña un conjunto de Trabajos de Laboratorio, TL, centrados en el abordaje de situaciones-problema que se suponen novedosos<sup>2</sup> para los estudiantes. Según el modelo propuesto, el desarrollo de cada TL demanda la construcción de un esquema de asimilación al inicio que incluye conceptos del dominio teórico y conceptos del dominio metodológico propios de la actividad experimental. Posteriormente, se producirá la construcción de una serie de esquemas de asimilación, básicamente, conformados con conceptos metodológicos pertinentes al dominio teórico y al problema a resolver. En este sentido, se pueden identificar algunos momentos importantes del proceso de resolución de la situación, relevantes para la recolección de información con fines investigativos, como son:

---

<sup>2</sup> 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.

i) *Identificar invariantes operatorios (IO) de los estudiantes asociados a la situación inicial.* Partiendo del supuesto de que la situación problemática que se propone es novedosa para los estudiantes, se estima que éstos no tienen todas las competencias para abordar de inmediato la tarea (Vergnaud, 1990); en consecuencia, tendrán que construir nuevos esquemas para ello. Como plantean Greca y Moreira (2002), ante situaciones como ésta, las personas elaboran MM que evolucionan según sea su funcionalidad, pero en ellos se mantienen algunos elementos estables (IO), al finalizar este proceso recursivo se supone que el sujeto construyó un esquema que le permitirá actuar sobre la situación. Para ello, el TL comienza con la presentación de una situación-problema y una secuencia de actividades de diagnóstico y discusión de los razonamientos iniciales, hasta llegar a: la formulación de preguntas relevantes e hipótesis, consensuadas, así como la producción de un plan de acción general. Las producciones orales y escritas de los estudiantes durante este proceso son importantes para la identificación de los IO iniciales (① Figura 5-4). Se recolectarán respuestas escritas individuales complementadas con entrevistas a los estudiantes (individuales o colectivas), realizadas en distintos momentos de esta etapa; y el plan de acción inicial. Los instrumentos para la recolección de datos propuestos son: situaciones con preguntas presentadas en forma escrita, guiones de preguntas para entrevistas, entre otros.

ii) *Identificar invariantes operatorios (IO) de los estudiantes, asociados con subtareas propias de la actividad experimental* En la Figura 5-4, ②, se destaca la etapa del proceso de aprendizaje que está relacionada con las acciones experimentales. Dada la complejidad de la misma, por la variedad de subtareas asociadas a las preguntas experimentales generadas, cada una es considerada como una situación-problema que puede o no resultar novedosa para el estudiante. Ello lleva a una sucesión de ciclos semejantes al de la etapa previa.

Para el estudio de este proceso se propone el uso del registro anecdótico escrito por parte de los estudiantes, en donde reportan 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). También se propone que el investigador o facilitador realice la observación y registro de las sesiones de trabajo (escrito, audio o video). El análisis de esta información permitiría obtener evidencias respecto de: a) los esquemas de asimilación utilizados por los estudiantes ante subtareas que consideraron

conocidas, y la efectividad de los mismos; b) las subtarear que les resultan ser desconocidas a los estudiantes y los IO subyacentes al esquema reformulado o construido para abordarlas, y c) las representaciones simbólicas que producen en relación con los conceptos y la situación. Todo ello permite establecer sobre que aspectos es necesario mediar para facilitar la construcción de los nuevos esquemas; en síntesis, para promover el aprendizaje de nuevos conceptos (metodológicos y teóricos).

iii) *Evaluar aprendizajes logrados.* ③ Considerando que cada TL desarrollado tiene la intención de lograr aprendizajes establecidos explícitamente (conceptual: teórico-metodológico, y epistemológico), se puede obtener evidencia de ellos en los reportes finales producidos por cada estudiante, así como de su actuación ante otras situaciones de la misma clase que pudieran ser presentadas al final de cada trabajo. Estos dos aspectos permitirán dar cuenta de los conceptos y sus relaciones y de las representaciones empleadas por los estudiantes; en consecuencia, establecer la efectividad del TL como facilitador del cambio entre el estado inicial y el estado final del desarrollo conceptual relativo al tópico abordado, tanto en el dominio teórico como en el dominio metodológico (experimental).

iv) *Comparar 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 espera alcanzar, y reflexionar acerca de los logros y posibles discrepancias. En tal sentido, el modelo permite incluir momentos de reflexión individual:

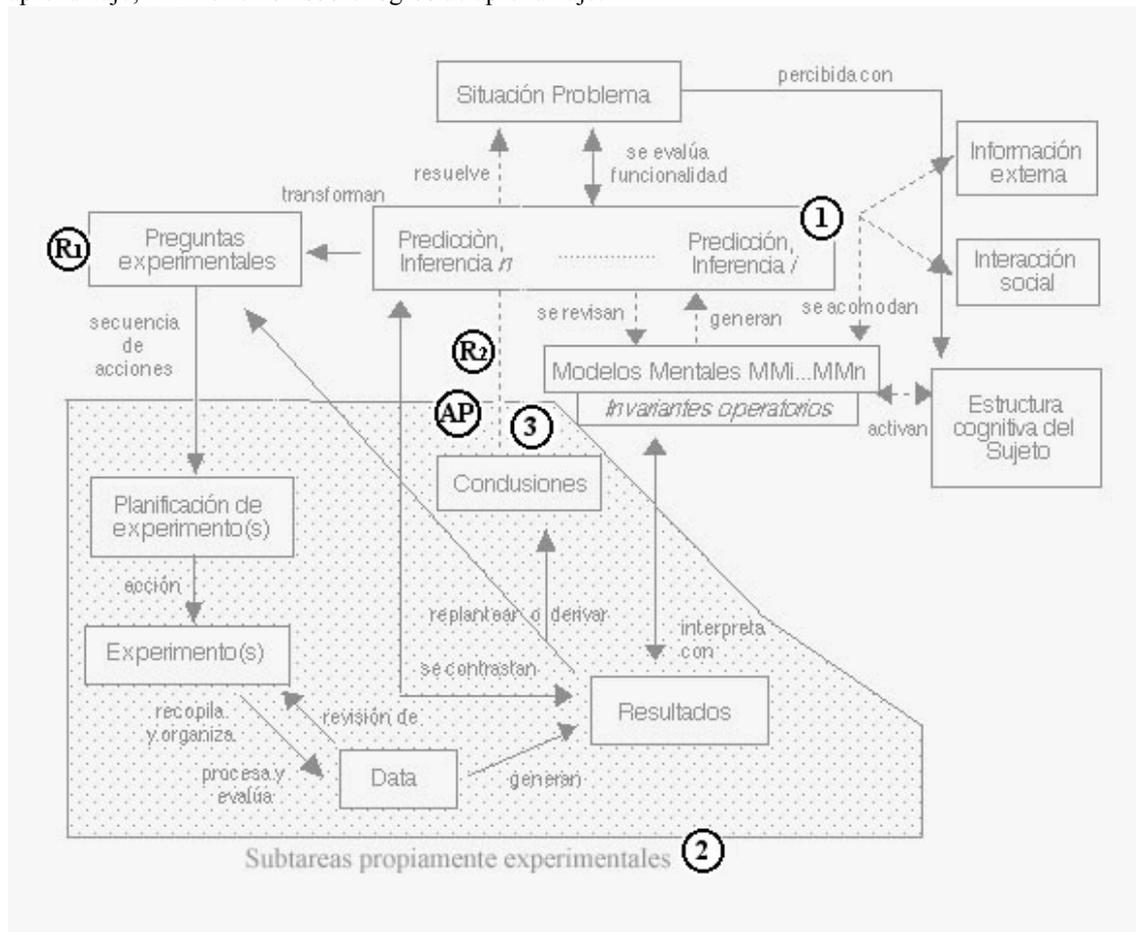
a) Identificar expectativas: Una vez formuladas las preguntas experimentales, si bien ha transcurrido una fase de actividad cognitiva en la que se supone se han producido cambios en los conocimientos de los estudiantes, se considera que éstos están en condiciones de dar cuenta tanto del proceso cognitivo ocurrido y sus acciones, como de lo que aprenderá a continuación (Figura 5-4, R<sub>1</sub>)

b) Identificar logros: Al concluir el trabajo de laboratorio, incluyendo la presentación final, es pertinente la reflexión individual acerca de: los aprendizajes logrados versus expectativas, y los procesos que permitieron o no dichos logros (Figura 5-4, R<sub>2</sub>).

vi) *Aprendizaje de orden epistemológico.* (AP) Cada trabajo de laboratorio puede culminar con una sesión de presentación del trabajo mediante exposición a pares, oral o

con cartel. El análisis del reporte final, la exposición oral y/o el cartel, puede ser guiado según los elementos del quehacer de la ciencia (Figura 5-2). Además, de las relaciones establecidas entre ellos se puede inferir el aprendizaje de orden epistemológico propiciado por el TL.

**Figura 5-4.** Modelo Dinámico de Aprendizaje en los Trabajos de Laboratorio (MATLaF) Momentos claves para la recolección de datos: (1) Identificación de IO iniciales; (2) Identificación de IO en subtareas; (3) Identificación de aprendizaje; R1: Reflexión sobre expectativas de aprendizaje; R2: Reflexión sobre logros de aprendizaje.



Si durante el desarrollo del TL orientado según el MATLaF, se promueve la reflexión epistemológica colectiva e individual de forma intencional, se estará favoreciendo la construcción de una visión acerca de la ciencia en los estudiantes, como la *concepción no estándar* descrita anteriormente (capítulo 4). Así, después de un ciclo de situaciones de TL dentro de un Campo Conceptual, resulta relevante evaluar su efectividad en cuanto a la evolución en las concepciones epistemológicas de los estudiantes relacionadas con la actividad experimental. Para ello, es pertinente la

evaluación de las concepciones epistemológicas de los estudiantes con relación a la actividad experimental antes y después de cada ciclo de TLs diseñados. Para ello se sugiere el cuestionario *Concepciones acerca de la Actividad Experimental en Física*, CAEF (Andrés y Pesa, 2003; Capítulo 9 de este informe), elaborado para explorar las concepciones de los estudiantes acerca de la actividad experimental en la física.

## 5.5 CONSIDERACIONES FINALES

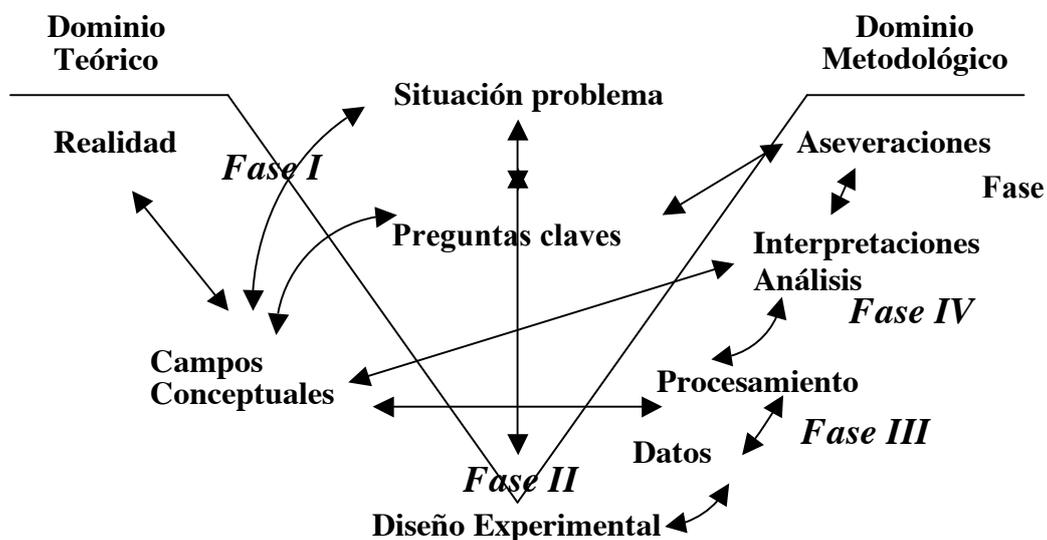
El modelo MATLaF propuesto para dar cuenta del proceso de aprendizaje durante los trabajos de laboratorio, suponemos que además de poder guiar la investigación también puede orientar las acciones didácticas del docente y los estudiantes, como lo señala el propio Vergnaud (1996). En este sentido, es necesario identificar el Campo Conceptual propio de la actividad experimental en la física en el que se trabajará, ya que, como plantea Vergnaud (1990), un Campo Conceptual se entiende como un conjunto de situaciones que se corresponden con un conjunto de esquemas necesarios para su solución, éstos constituidos por: conceptos y teoremas que sean operativos, y formulaciones y simbolizaciones para su representación; de esta forma, un CC se presenta como dos caras de una misma moneda, por un lado, está un *conjunto de reglas y procedimientos*, y por el otro, un *conjunto de conceptos y relaciones* (representados a diferentes niveles), para la aplicación del anterior en la solución de una variedad de *situaciones asociadas*.

Por otra parte, considerando los TLs como *hacer otra vez el trabajo de la ciencia*, pueden resultar ser un espacio para la aplicación de conocimientos teóricos y metodológicos en la solución de situaciones problemáticas de carácter experimental. En relación con los primeros, habrá que identificar los invariantes operatorios más comunes (esquemas) utilizados por los estudiantes en situaciones semejantes -los cuales pueden diferir respecto de lo acordado en la ciencia- para intentar ponerlos en evidencia durante el TL y promover la construcción y uso de esquemas conceptuales afines a estas situaciones. En cuanto a los conocimientos de orden metodológico, considerados como el eje central del aprendizaje durante los TL, es menester la identificación de los componentes del Campo Conceptual definido que son requeridos para el abordaje experimental de cada problema de TL a proponer. Y al igual que con lo anterior, identificar el nivel de desarrollo conceptual alcanzado por los estudiantes al respecto, a fin de establecer las metas de aprendizaje esperadas para cada TL.

Por último, como el mismo Vergnaud señala, el dominio de un Campo Conceptual no puede esperarse en una sesión de clase, ni en un curso, sino como algo progresivo. De igual forma, el desarrollo de una visión acerca de la ciencia y la actividad científica cónsona con posturas epistemológicas actuales, también se logrará con el paso del tiempo. En síntesis, cada Trabajo de Laboratorio tendrá unos objetivos específicos de orden conceptual (teórico y metodológico) y de orden epistemológico que deben estar explícitos para evaluar su efectividad, y serán los ciclos de TLs (clases de situaciones) los que contribuirán significativamente al dominio del área de conocimientos al cual se corresponden.

En esta propuesta, se tiene que, por un lado, desde la ciencia se plantea un plan general que refleje la naturaleza de la ciencia y el proceso de producción de conocimientos en ella, que sirve de guía para el trabajo de laboratorio. En tal sentido, en la dinámica durante un TL desde el quehacer de la ciencia que fue representada en la Figura 5-2, se identifican cinco (5) fases que se interrelacionan (Figura 5-5). Y por otro lado, se propone el modelo MATLaF para comprender el proceso de aprendizaje durante la ejecución de tareas y subtareas propias del trabajo de laboratorio. Así, con estas dos vertientes, la epistemológica y la cognitiva, estimamos que es posible orientar tanto las acciones didácticas relativas al desarrollo de los trabajos de laboratorio en la enseñanza de la física como la investigación en este campo, con mayor eficiencia y efectividad.

**Figura 5-5.** Plan general para el desarrollo de un Trabajo de Laboratorio. Fases: I. Análisis conceptual del problema; II. Diseño experimental; III. Recolección y Evaluación de datos; IV. Transformación, Análisis e Interpretación de datos; V. Conclusiones y Divulgación



## **CAPÍTULO 6**

### **PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN**

## CAPÍTULO 6

### PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

En atención a la necesidad de precisar el rol del Trabajo de Laboratorio (TL) en la enseñanza de la física, y en consecuencia, de implementar una metodología para desarrollarlos y evaluarlos en función de las metas de aprendizaje establecidas. Y considerando, los referentes teóricos presentados y los objetivos expuestos en el capítulo 2 (p.10), se ha desarrollado una investigación de campo a fin de evaluar la potencialidad del modelo MATLaF construido para comprender el proceso de aprendizaje durante el desarrollo de un TL, bajo la orientación de perspectivas epistemológicas de la ciencia próximas a la concepción no estándar. El estudio de campo comprende a su vez cuatro momentos de investigación, en atención a cuestiones específicas, las cuales se exponen a continuación.

#### **6.1 CONCEPCIONES ACERCA DE LA ACTIVIDAD EXPERIMENTAL EN LA FÍSICA DE ESTUDIANTES UNIVERSITARIOS**

En capítulos anteriores se ha discutido acerca del rol que parecen tener los trabajos de laboratorio en la construcción de una visión de ciencia. Por otra parte, se han encontrado numerosos trabajos e instrumentos dirigidos a evaluar las concepciones acerca de la naturaleza de la ciencia, o la ciencia, la sociedad y la tecnología. En tal sentido, resulta relevante estudiar, de manera específica, las concepciones acerca de la actividad experimental en la ciencia que han desarrollado los estudiantes universitarios. En particular, en este trabajo se centró el interés en los estudiantes de la carrera de profesor de física, ya que se considera fundamental que estos sean críticos en cuanto a su visión acerca de la ciencia y evolucionen hacia concepciones cónsonas con la actividad científica actual.

Tomando en consideración los aspectos más relevantes de la caracterización epistemológica de la actividad experimental según las dos macrovisiones: concepción estándar y concepción no estándar (Capítulo 4), se ha formulado un conjunto de

preguntas foco que guiaron la construcción de un instrumento para describir las concepciones de los estudiantes acerca de la actividad experimental.

Estas cuestiones foco son: *Para los estudiantes.....*

- 1 ¿Qué implica diseñar un experimento en física?
- 2 ¿Cuál es el estatus que le asignan los estudiantes universitarios al trabajo de laboratorio en física? ¿Con qué finalidad se realizan experimentos en física?
- 3 ¿Cómo conciben la relación entre la estructura teórica (teorías, leyes, modelos) y la actividad experimental? ¿Cuáles consideran que son los propósitos de la elaboración de modelos en la física?
- 4 ¿Qué criterios consideran que emplean los físicos para establecer la validez de los modelos?
- 5 ¿Qué orienta la observación realizada en el laboratorio (descriptiva, cuantitativa)?
- 6 ¿Cómo conciben los datos registrados en el laboratorio?
- 7 ¿Cómo son interpretados los datos experimentales? ¿Cuál es el rol de la creatividad e imaginación del científico en el trabajo de laboratorio?
- 8 ¿Cuál es la importancia y función del intercambio entre pares sobre resultados y conclusiones obtenidas experimentalmente?

El proceso de construcción y validación del instrumento CONCEPCIONES ACERCA DE LA ACTIVIDAD EXPERIMENTAL DE LA FÍSICA, CAEF; la metodología desarrollada para el procesamiento y análisis de los datos recolectados con él; y los resultados de su aplicación a un grupo de estudiantes universitarios se reportan en el Capítulo 9.

## **6.2 NIVEL DE DESARROLLO CONCEPTUAL EN RELACIÓN CON LA ACTIVIDAD EXPERIMENTAL EN EL AULA: 1. ESTUDIO PILOTO**

El proceso de aprendizaje en el trabajo de laboratorio se ha analizado según la Teoría de los Campos Conceptuales, de lo cual se ha construido el modelo MATLaF. El mismo está dirigido a comprender el proceso cognitivo durante el desarrollo conceptual de los estudiantes cuando se enfrentan a situaciones que demandan el trabajo experimental. El desarrollo conceptual se ha considerado en tres dominios: teórico,

metodológico y epistemológico. En este sentido, se han planteado en términos empíricos, las siguientes preguntas foco de investigación:

¿Qué Invariantes Operatorios activan los estudiantes ante las diferentes tareas y subtareas del TL demandadas por la situación problema presentada en el campo conceptual de oscilaciones armónicas?

¿Qué dificultades conceptuales, tanto en el dominio teórico como en el metodológico, se identifican en los estudiantes en relación con la ejecución de este TL ?

¿El modelo MATLaF permite describir y analizar el desarrollo de un TL ejecutado a partir de una situación problema?

¿El desarrollo del TL a partir de una situación problema y mediado según lo describe el modelo MATLaF promueve cambios en las conceptualizaciones de los estudiantes?

El estudio realizado para abordar estas cuestiones se reporta en el capítulo 7.

### **6.3 CONTRIBUCIÓN DEL TRABAJO DE LABORATORIO AL DESARROLLO CONCEPTUAL: 2. ENSAYO EN UN CAMPO CONCEPTUAL DE FÍSICA**

Considerando el trabajo de laboratorio un espacio natural para el aprendizaje en los dominios metodológico teórico en forma interrelacionada, así como, para el desarrollo de una visión acerca de actividad experimental cónsona con las tendencias aceptadas en la comunidad científica, se ha propuesto el modelo MATLaF bajo la orientación de un plan general de acción derivado de la epistemología de la ciencia, por lo que se formula la siguiente pregunta:

¿El desarrollo del TL según el modelo MATLaF descrito en el capítulo 5 y guiado por el plan general derivado desde una perspectiva epistemológica de la actividad científica como un proceso de permanente interjuego entre aspectos teóricos y metodológicos representado en la Fig.5-5, promoverá en los estudiantes *aprendizajes del dominio conceptual teórico-metodológico y del dominio epistemológico?*

Con el fin de dar respuesta a esta cuestión, se diseñó un TL en el marco de un curso de laboratorio dirigido a la enseñanza de la física que se enmarcaba en el tema de

ondas mecánicas, para estudiantes de la carrera de profesor de física. En torno al cual se formularon las siguientes preguntas foco de investigación:

¿Qué Invariantes Operatorios activan los estudiantes ante las situaciones-problema presentadas en relación con el campo conceptual de Ondas Mecánicas en medios no dispersivos?

¿Qué dificultades conceptuales en los dominios: teórico, metodológico y epistemológico, se identifican en los estudiantes con relación a las situaciones-problema del TL, dentro del campo conceptual de Ondas Mecánicas en medios no dispersivos?

¿El desarrollo de un TL mediado según el modelo MATLaF descrito en el capítulo 5, que se centra en la resolución de situaciones-problema relativos a: la naturaleza de las ondas, la propagación de las ondas y la dependencia de la velocidad de la onda con otras variables, y que es orientado, desde una perspectiva epistemológica, por el plan general derivado de la actividad experimental científica como un proceso de permanente interjuego entre aspectos teóricos y metodológicos (Fig.5-5), facilitará en los estudiantes *aprendizajes* previamente establecidos dentro del dominio *conceptual teórico-metodológico* y del ámbito *epistemológico*?

El trabajo de campo desarrollado para dar respuesta a estas interrogantes se reporta en el capítulo 8.

#### **6.4 CONTRIBUCIÓN DEL TRABAJO DE LABORATORIO AL DESARROLLO DE UNA CONCEPCIÓN ACERCA DE LA ACTIVIDAD EXPERIMENTAL EN LA FÍSICA PRÓXIMA A LA CONCEPCIÓN NO ESTÁNDAR**

En este estudio, el trabajo de laboratorio (TL) se ha considerado como un espacio natural para el aprendizaje en el dominio metodológico y el dominio teórico-epistemológico interrelacionados. En consecuencia, un ciclo de TL desarrollados con el enfoque propuesto, se espera que contribuyan al desarrollo en los estudiantes de una visión acerca de la actividad experimental próxima a la concepción no estándar de la ciencia (capítulo 4). En tal sentido se planteó la siguiente interrogante foco:

¿Qué cambios se promoverán en las concepciones acerca de la Actividad Experimental en Física en los estudiantes que participan en el ciclo de TLs desarrollados según el modelo MATLaF (capítulo 5) y guiados por el plan general

derivado desde una perspectiva epistemológica de la actividad científica como representación del permanente interjuego entre aspectos teóricos y metodológicos?

El instrumento CONCEPCIONES ACERCA DE LA ACTIVIDAD EXPERIMENTAL DE LA FÍSICA, CAEF, fue aplicado al grupo de estudiantes que participó en el estudio piloto y en el ensayo, antes de comenzar el curso y después de haber concluido el mismo. Este estudio se reporta y discute en el Capítulo 10.

## **CAPÍTULO 7**

# **NIVEL DE DESARROLLO CONCEPTUAL DE LOS ESTUDIANTES EN RELACION CON LA ACTIVIDAD EXPERIMENTAL EN EL TRABAJO DE LABORATORIO: ESTUDIO PILOTO**

## **CAPÍTULO 7**

### **NIVEL DE DESARROLLO CONCEPTUAL DE LOS ESTUDIANTES EN RELACION CON LA ACTIVIDAD EXPERIMENTAL EN EL TRABAJO DE LABORATORIO: ESTUDIO PILOTO**

En este capítulo 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 el primer trabajo de laboratorio de física del curso de Laboratorio III para la carrera de profesorado de física. Este trabajo ha sido considerado como un ensayo piloto dirigido a evaluar la potencialidad del modelo del proceso de desarrollo cognitivo descrito en el capítulo 5 (MATLaF) (Andrés y Pesa, 2003; 2003b) para comprender el aprendizaje en el trabajo de laboratorio, así como, la metodología de investigación propuesta para hacer explícitos los esquemas activados por los estudiantes al abordar una situación-problema experimental planteada. Se describe el contexto del ensayo, las fuentes de información del estudio, el análisis de contenido de los textos y los resultados obtenidos. Se cierra con la presentación de los invariantes operatorios tanto de orden teórico como metodológico referidos al campo conceptual (oscilaciones armónicas) y los procesos de transformación ocurridos durante la acción didáctica (Andrés y Pesa, 2004).

#### **7.1 EL TRABAJO DE LABORATORIO DESDE UNA PERSPECTIVA COGNITIVA**

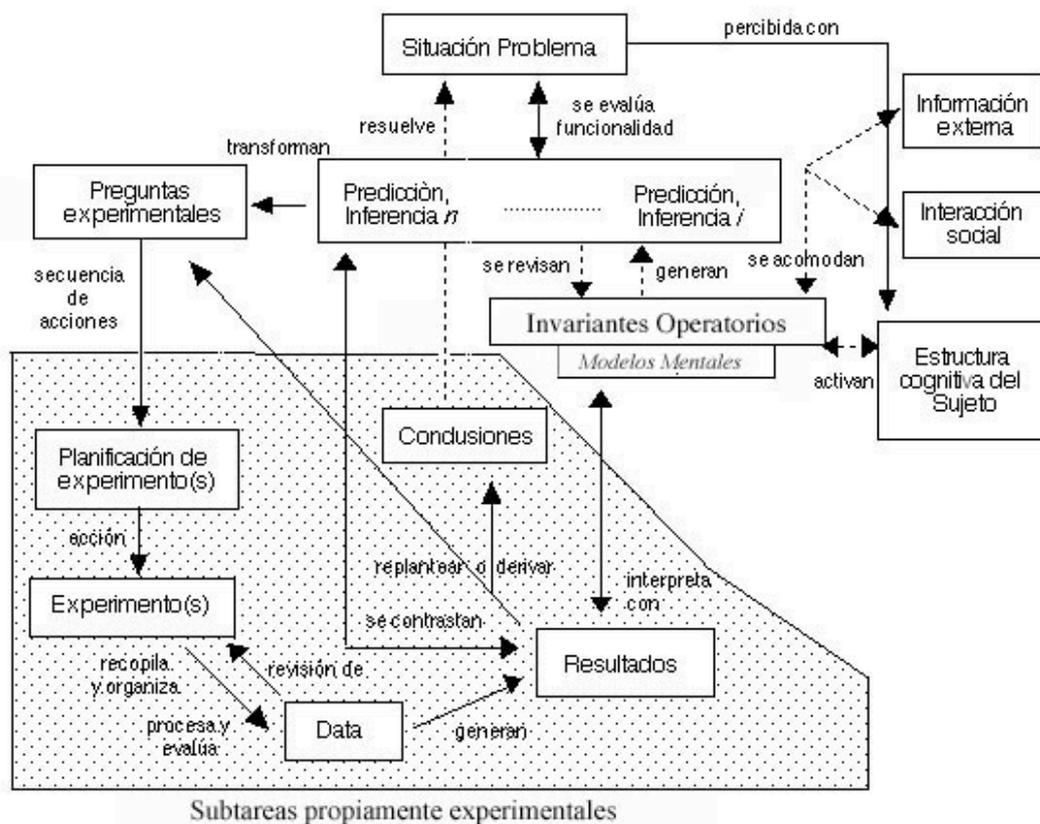
El trabajo de laboratorio, en el marco de un curso de Física y desde la perspectiva establecida en el capítulo 5, resulta una actividad cognitiva compleja que parte de una situación problemática cuya solución implica resolver un conjunto de tareas y subtareas que demandan la utilización de una variedad de conceptualizaciones de los dominios metodológico y teórico. Para facilitar el proceso de aprendizaje, y establecer explícitamente las metas esperadas como lo plantean diversos autores (Seré, 2002; Duschl, 2000), es relevante 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.

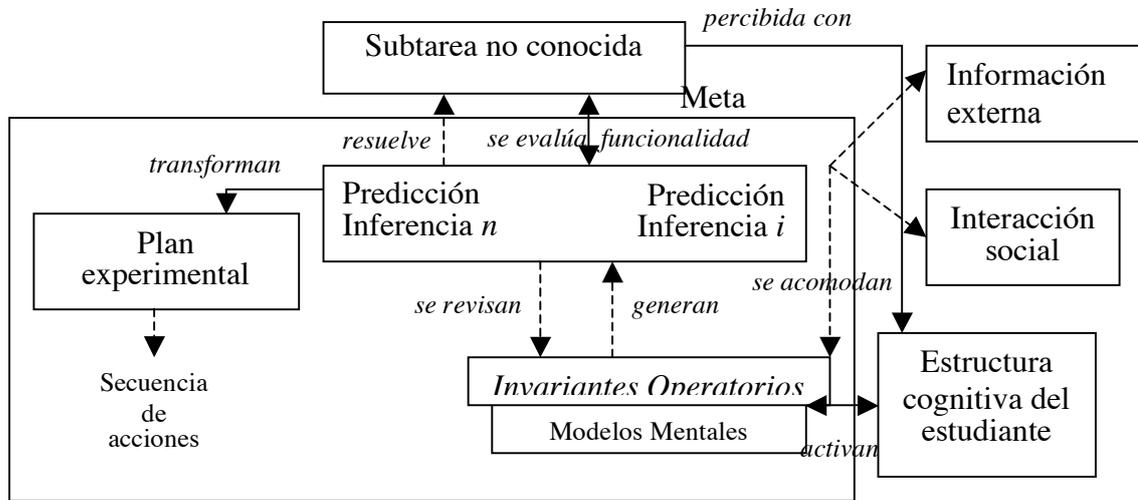
Si un trabajo de laboratorio expone a los estudiantes ante situaciones-problema que les resulten novedosas, en primera instancia se generará la necesidad de construir un esquema marco inicial que incluiría conceptos-en-acción y teoremas-en-acción, del cual surge un primer plan de acción a ejecutar. En este plan pueden surgir *subtareas no conocidas* ante las cuales se repetirán procesos cognitivos como el inicial en búsqueda de un esquema para resolver esta nueva situación. Las subtareas a lo largo del trabajo de laboratorio pueden diferenciarse, según la conceptualización que predomine: teórica o metodológica, asociadas con el área temática correspondiente al problema.

En la Figura 7-1 (a y b) se modela el proceso cognitivo que suponemos ocurre durante un trabajo de laboratorio a partir de una **situación no conocida**, con lo cual se representa la dinámica descrita en el párrafo anterior.

**Figura 7-1.** (a) Modelo de Aprendizaje en los Trabajos de Laboratorio (MATLaF).



**Figura 7-1.** (b) Visión ampliada del proceso cognitivo ante subtareas propiamente experimentales no conocidas (plan experimental, recolección de datos, procesamiento y análisis de datos, generación de conclusiones)



En atención a conocer las dificultades conceptuales de los estudiantes ante situaciones relacionadas con la actividad experimental en física, del modelo propuesto se derivan las siguientes cuestiones:

¿Cuáles son los Invariantes operatorios, IO, que activan los estudiantes ante las diferentes tareas y subtareas demandadas por una situación-problema dentro de un trabajo de laboratorio en un campo conceptual?

¿Qué debilidades y fortalezas se identifican en el desarrollo conceptual de los estudiantes evidenciado ante un trabajo de laboratorio, desde una perspectiva científica?

## 7.2 PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

Hemos considerado como estudio piloto al primer trabajo experimental de un curso de laboratorio; el cual consiste en la resolución de una situación problemática relativa a la oscilación de una barra en voladizo.

Para el caso específico, de las cuestiones anteriores, nos planteamos las siguientes preguntas foco de investigación:

¿Qué Invariantes Operatorios activan los estudiantes ante las diferentes tareas y subtareas del TL demandadas por la situación problema presentada en el campo conceptual de oscilaciones armónicas?

¿Qué dificultades conceptuales, tanto en el dominio teórico como en el metodológico, se identifican en los estudiantes en relación con la ejecución de este TL ?

¿El modelo MATLaF permite describir y analizar el desarrollo de un TL ejecutado a partir de una situación problema?

¿El desarrollo del TL a partir de una situación problema y mediado según lo describe el modelo MATLaF promueve cambios en las conceptualizaciones de los estudiantes?

### 7.3 METODOLOGÍA DEL ESTUDIO PILOTO

En atención al modelo MATLaF y la propuesta metodológica derivada de él (Cap. 5), para este ensayo se tomaron cuatro (4) momentos del proceso para la recolección de información con fines investigativos, ellos son:

i) *Identificar invariantes operatorios (IO) de los estudiantes asociados con la situación inicial.* El TL comenzó con la presentación de una situación-problema; se partió del supuesto de que la situación resultaba novedosa para los estudiantes<sup>1</sup>, y que éstos no encontrarían un esquema que funcionase para actuar de inmediato, en consecuencia, tendrían que construir el esquema para producir la formulación de preguntas relevantes y la elaboración de un plan de acción (Vergnaud, 1990). Se le presentó a cada estudiante la situación, primero de forma individual para que expresara por escrito sus ideas acerca del problema, y posteriormente, de forma colectiva, para que participara en el aula en una discusión entre pares en torno a las ideas iniciales. Cada estudiante tenía libertad de realizar otras acciones previas a la discusión, como por ejemplo buscar información externa. A tal efecto, la sesión de discusión se consideró como una entrevista (colectiva). El análisis de los discursos de esta fase

---

<sup>1</sup> Establecer que las situaciones sean novedosas es importante para promover el aprendizaje, para ello se requiere tener conocimiento de la historia de aprendizaje de los estudiantes.

permitieron dar cuenta de los primeros IO. Los instrumentos para la recolección de datos fueron:

- a) Situación-problema con preguntas presentadas en forma escrita.
- b) Guión de preguntas para entrevista colectiva, dirigidas a profundizar en los significados de los estudiantes y precisar los IO.

ii) *Identificar IO de los estudiantes, asociados con la actividad experimental propiamente dicha.* Como se señaló anteriormente, durante el TL algunas subtarear requieren para su abordaje de más conceptualizaciones de orden metodológico que teórico, las cuales se relacionan con las preguntas experimentales generadas; además, estas subtarear pueden o no resultar novedosas para el estudiante. Por lo tanto, el estudio de los procesos cognitivos producidos durante la resolución de las mismas permite obtener evidencias respecto de:

- los esquemas de asimilación (conceptos y teoremas en acción) utilizados por los estudiantes ante subtarear que consideraron conocidas, y la efectividad de los mismos o,
- el esquema (conceptos y teoremas en acción) reformulado o construido para abordar las subtarear que les resultan ser desconocidas a los estudiantes, y
- las representaciones que producen en relación con los conceptos empleados y la situación.

El procedimiento de indagación empleado para estas evaluaciones en el estudio piloto fue<sup>2</sup>:

Registro anecdótico por parte del docente, de la observación de las sesiones de trabajo.

iii) *Evaluar aprendizajes logrados.* Considerando que la finalidad del ensayo piloto era de diagnóstico, y que en el marco de la teoría de Campos Conceptuales y del modelo MATLaF, en un TL se enfrenta a los estudiantes ante situaciones problema no conocidas, el abordaje y grado de dominio final del TL implicará siempre un cierto aprendizaje, aunque este no se haya planificado, como el caso de este ensayo. En

---

<sup>2</sup> El registro anecdótico escrito por parte de los estudiantes, con todo lo que consideran necesario e importante de cada sesión de trabajo no resultó eficiente, debido a que los estudiantes de este ensayo no tenían cultura de llevar un diario de trabajo en el laboratorio.

consecuencia, se analizó la evolución en las conceptualizaciones de los estudiantes mediante la contrastación del estado inicial con el estado final del desarrollo conceptual relativo al tópico abordado, tanto en lo propiamente teórico como en lo metodológico. A tal fin se emplearon los registros citados en los numerales i y ii, y los *reportes finales* producidos por cada estudiante.

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, así como reflexionar acerca del proceso, de los logros y sobre las discrepancias entre éstos y las expectativas. En tal sentido, el modelo permite incluir momentos de reflexión individual; a efecto de este ensayo, al concluir el TL, se solicitó a los estudiantes una reflexión individual presentada por escrita, sobre los aprendizajes logrados en contraste con las expectativas y los procesos que les permitieron o no alcanzar dichos logros.

### **7.3.1 Diseño del estudio**

El ensayo piloto se desarrolló como un estudio de casos de tipo interpretativo, con intervenciones mediadoras en el aula, dentro del marco del modelo MATLaF y la metodología derivada del mismo. La finalidad del ensayo es:

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, y derivar metas de aprendizaje para los sucesivos TL del curso.

En el estudio participaron seis<sup>3</sup> (6) estudiantes de la especialidad de Física (UPEL-IPC), inscritos en Laboratorio III, en el periodo Mayo – Noviembre, 2003. El docente del curso fue quien llevó cabo la investigación. Los 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 enmarcados en mecánica (cinemática, dinámica de la partícula) y electricidad y magnetismo (campo

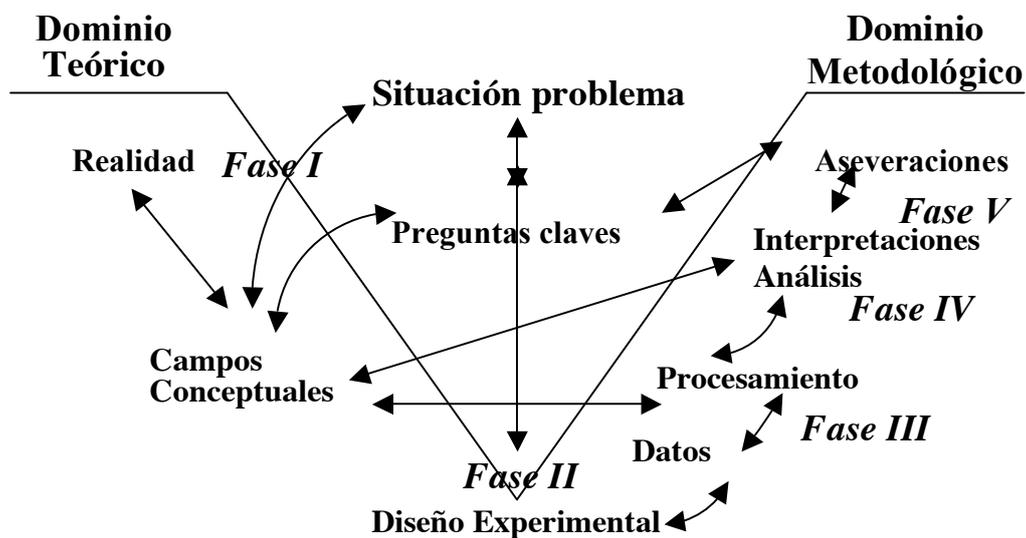
---

<sup>3</sup> Solo se analizó el trabajo de cinco estudiantes, dado que no se recabó toda la información de uno de los participantes.

eléctrico, circuitos DC y AC); los TL de estos cursos fueron realizados dentro de un esquema tradicional, donde el trabajo experimental está previamente planificado por el docente, con énfasis en la recolección, el procesamiento y la transformación de datos para el logro de los objetivos del experimento.

El trabajo de laboratorio de este ensayo se desarrolló en 25 horas de clase (5 semanas). La estrategia didáctica se orientó con el plan general derivado de la perspectiva epistemológica de la ciencia (Andrés y Pesa, 2003) representado en una V de Gowin (Novak y Gowin, 1984) y expuesto en el Cap. 5 (Fig 5-2); en este plan se establecieron cinco (5) fases interrelacionadas: *Fases: I.* Análisis conceptual del problema; *II.* Diseño experimental; *III.* Recolección y Evaluación de datos; *IV.* Transformación, Análisis e Interpretación de datos; *V.* Conclusiones y Divulgación; este esquema fue presentado en clase y analizado con los estudiantes como modelo general derivado de la ciencia para el trabajo de laboratorio (Figura 7-2).

**Figura 7-2.** Plan general para el desarrollo de un Trabajo de Laboratorio. Fases: I. Análisis conceptual del problema; II. Diseño experimental; III. Recolección y Evaluación de datos; IV. Transformación, Análisis e Interpretación de datos; V. Conclusiones y Divulgación



### 7.3.2 Situación-problema

Tomando como fundamento el modelo MATLaF se seleccionó una situación-problema dentro del tema: oscilaciones armónicas amortiguadas, estudiado con anterioridad en cursos teóricos de física. Sin embargo, la situación propuesta fue considerada como novedosa para los estudiantes dado que en su historia académica encontramos que si bien habían estudiado el tema de oscilaciones en un curso de teoría, los ejemplos y problemas que resolvieron se referían a sistemas masa-resorte. Además, en los laboratorios previos no habían realizado trabajos prácticos en este campo.

La situación problema en este ensayo consistía en el siguiente planteamiento:

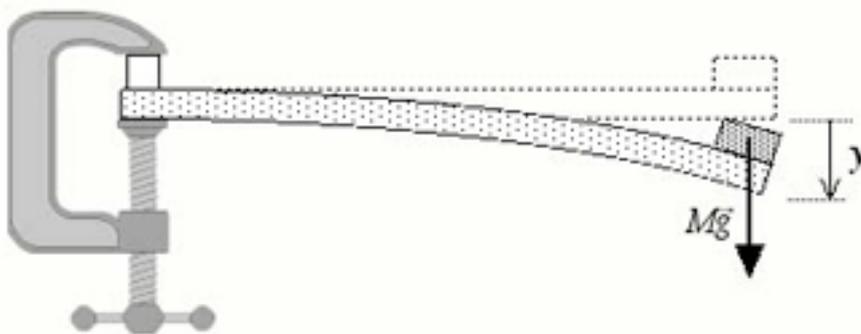
*“Se tiene una barra metálica flexible cargada con masas en un extremo y fija en el otro extremo (ver figura).*

*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 de tipo armónico? En caso afirmativo, describa y argumente un modelo.*

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

**Figura.** *Barra en voladizo cargada en el extremo libre con una masa  $M$  que ejerce una fuerza vertical  $Mg$ , en equilibrio a la distancia  $y$ ”.*



### 7.3.3 Análisis físico del problema

El análisis de las deformaciones de la barra en voladizo con un peso en el extremo libre, es tipificado como un problema complejo (Strelkov, p. 322, 1978). Sin embargo, si se imponen algunas condiciones y supuestos se puede establecer un modelo que

describe con razonable aproximación el comportamiento oscilatorio del sistema. Las condiciones,  $C_i$ , que limitan este modelo son:

C1 Las secciones transversales se mantienen constantes y como planos paralelos a lo largo de la barra y en todo momento.

C2 Las dimensiones de la sección transversal de la barra (ancho  $b$ , alto  $d$ ) son mucho menores que su longitud  $L$ .

C3. La longitud  $L$  de la barra (línea neutral) permanece constante.

C4 El comportamiento elástico de la barra es lineal dentro del rango de pequeñas deformaciones, es decir, la pesa en el extremo libre de la barra es tal que la flecha o inflexión (desplazamiento vertical,  $y$ ) que se produce es pequeña, y a nivel del extremo empotrado de la barra, es nula.

C5 La distribución de masa/longitud de la barra es tal que no se arquea por su peso; ello permite considerar al peso de la carga como única fuerza aplicada en dirección vertical.

C6 El desplazamiento horizontal de la barra flexionada se desprecia frente a longitud de la barra ( $\Delta x \ll L$ ).

C7 La amplitud inicial no debe ser muy grande para mantener las condiciones C6 y C4.

Diversos autores han analizado la deflexión de la barra bajo las condiciones C2, C3, C4, C5 y C6, entre ellos Feynman y otros (1964, tomo II) de lo cual se deriva que el radio de curvatura de la barra está dado por:

$$\frac{1}{R} = \frac{\frac{d^2 y}{dx^2}}{\left[1 - \left(\frac{dy}{dx}\right)^2\right]^{\frac{3}{2}}} \approx \frac{d^2 y}{dx^2} \quad (1)$$

Y el momento flector en un punto  $x$  de la barra puede ser expresado por:

$$M = F(L-x) \quad (2)$$

Además, dada la condición C1 el momento flector de la fuerza aplicada se expresa como:

$$M = YI/R \quad (3)$$

Donde  $Y$  es el modulo de Young,  $I$  es el *momento de inercia de la sección transversal* de la barra y  $R$  es el radio de curvatura de la flecha.

Combinando 2 y 3 y sustituyendo en la ec. 1, se tiene

$$\frac{d^2y}{dx^2} = \frac{F(L-x)}{YI} \quad (4)$$

Integrando dos veces la ec. 4 se tiene que el desplazamiento vertical  $y$  para diferentes posiciones  $x$  viene dado por:

$$y(x) = \frac{F}{6YI}(3Lx^2 - x^3) \quad (5)$$

Considerando como condiciones de frontera: en  $x = 0$ ,  $y = 0$  y  $dy/dx = 0$ , y tomando en cuenta que el *momento de inercia rectangular de la sección transversal*, de ancho  $b$  y altura  $d$  para este caso es:

$$I = bd^3/12$$

se tiene que en el extremo donde esta la pesa,  $x = L$ , el desplazamiento vertical  $y$  es máximo, y su valor, según la expresión 5, viene dado por:

$$y(L) = \left(\frac{4F}{Ybd^3}\right)L^3 \quad (6)$$

Despejando la fuerza  $F$  ejercida por la pesa, y considerando  $F'$ , la fuerza elástica ejercida por la barra, donde  $F' = -F$ , se tiene:

$$F = -\left(\frac{Ybd^3}{4L^3}\right)y \quad \text{para } x = L$$

Asumiendo que esta fuerza satisface la ley de Hooke, el término entre paréntesis sería constante (condiciones C1, C3 y C4).

En este sentido, si se desplaza el sistema barra-pesa de su posición de equilibrio, con amplitudes pequeñas (C7) se tendrá un movimiento oscilatorio que satisface la ecuación:

$$M \frac{d^2y}{dt^2} = -\left(\frac{Ybd^3}{4L^3}\right)y, \text{ siendo } M \text{ la masa de la pesa} \quad (7)$$

Si se considera que la carga oscila en un medio viscoso, estará bajo la acción de una fuerza retardadora. Esta fuerza se asume relacionada con la velocidad, la forma del

objeto y las características del medio (viscosidad y densidad). Manteniendo constante el objeto y el medio, la fuerza de fricción depende de la velocidad del objeto. Para el caso de una esfera cayendo en un fluido, la relación entre la fricción y la velocidad es lineal para velocidades pequeñas y cambia a cuadrática para velocidades grandes (Strelkov, 1978, pag. 141, 439), lo cual se considera como ajustado para el movimiento de la pesa por el aire de este caso. Así, en el problema en estudio se puede asumir que la fricción sea directamente proporcional a la velocidad, y en consecuencia, las oscilaciones serán consideradas armónicas. La ecuación dinámica sería:

$$M \frac{d^2 y}{dt^2} = - \left( \frac{Ybd^3}{4L^3} \right) y - B \frac{dy}{dt} \quad (8)$$

Este modelo corresponde a un sistema oscilante bajo una fuerza recuperadora lineal con amortiguación viscosa, donde la dependencia entre la fuerza retardadora y la velocidad es también lineal. Una solución a la ec. 8 es:

$$y = y_0 e^{-\beta t} \text{sen}(\omega t + \varphi)$$

La amplitud disminuye en el tiempo exponencialmente, como muestra el factor de la función seno:  $y_0 e^{-\beta t}$ , según la constante de amortiguación  $\beta$ . Además,  $y_0$  y  $\varphi$  son constantes que dependen de las condiciones iniciales.

La frecuencia angular del sistema,  $\omega$  depende de la frecuencia angular de oscilación libre,  $\omega_0$ , y del coeficiente de amortiguación,  $\beta$ , según la relación:

$$\omega = (\omega_0^2 - \beta^2)^{1/2},$$

donde la frecuencia de la oscilación libre equivale a:

$$\omega_0 = \left( \frac{Ybd^3}{4ML^3} \right)^{1/2} \quad (9)$$

y, el factor de amortiguación es:

$$\beta = \frac{B}{2M} \quad (10)$$

siendo,  $M$  la masa de la barra y  $B$  la constante de proporcionalidad entre la fuerza retardadora y la velocidad de la pesa.

## 7.4 REGISTROS Y ANÁLISIS DE DATOS

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

- a) Registros escritos de las respuestas individuales al problema planteado.
- b) Protocolo de la entrevista colectiva de discusión en torno a las respuestas iniciales (Anexo 7-A)
- c) Registro anecdótico del docente durante el proceso de trabajo experimental.
- d) Reporte final del trabajo de laboratorio elaborado por los estudiantes.
- e) Reflexiones personales de los participantes al culminar el TL (Anexo 7-B)

Los procedimientos seguidos para el análisis de los diferentes registros se describen a continuación.

**1) *Análisis de contenido de los registros a y b.*** Se procedió de la siguiente manera:

- Las entrevistas fueron transcritas por la investigadora, dado que el haber estado presente en la grabación facilitaba la comprensión de lo escuchado. Los signos de puntuación fueron agregados para darle sentido a la conversación.
- Los textos se fragmentaron en episodios según su significación o intencionalidad. Cada uno se dividió en unidades de análisis, UA, que pueden ser: frases, oraciones o grupos de oraciones.
- En las UA se identificaron los conceptos-en-acción y teoremas-en-acción, los cuales podían estar explícitos o se inferían del discurso o las acciones planteadas.
- Se identificó el nivel representacional (analógico, verbal, simbólico matemático o gráfico, u otro) 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, así como, las acciones asociados a ellos.

- 2) *Notas de campo*: Fueron recabadas durante fases II a IV (plan general, Figura 7-2). Según la propuesta didáctica tenían la intención de registrar cómo fue el proceso cognitivo durante la ejecución del trabajo propiamente experimental y cuáles eran las motivaciones de las acciones que realizaban los estudiantes.
- 3) *Reporte final del trabajo*: A los estudiantes se les sugirió guiaran el reporte en función de los elementos<sup>4</sup> del plan general (Figura 7-2), por ello se efectuó un análisis de contenido por cada elemento y la coherencia entre ellos, así como la relación modelo-fenómeno expresada. También se contrastó con el estado inicial (registros a y b) con el fin de explicitar las transformaciones que pudieran haberse producido en los esquemas empleados durante el TL.
- 4) *Reflexiones finales*. 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 se solicitó que las presentaran por escrito. El análisis de contenido de estos textos se realizó seleccionando las frases relevantes según cada cuestión planteada e intentando categorizarlas.

## 7.5 RESULTADOS

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

### 7.5.1. Situación inicial.

Los textos de los dos primeros registros (a y b) permitieron dar cuenta de los invariantes operatorios iniciales.

En la Cuadro 7-1 se presentan las primeras respuestas de los cinco estudiantes, fragmentadas en unidades de análisis.

---

<sup>4</sup> Problema, preguntas claves (hipótesis, objetivos), análisis conceptual, eventos, datos, procesamiento, transformaciones, conclusiones.

**Cuadro 7-1.** Textos del Registro *a* (respuesta individual escrita al planteamiento inicial) en unidades de análisis por estudiante.

Estudiante	Unidades de análisis, UA
E1C	1 Es MAS <sup>5</sup> , se repite periódicamente, 2 .. como se para es MAS variado, retardado o acelerado
E2H	1 No es Armónico por el roce con el aire 2 El periodo depende de la longitud
E4J	1 No es MAS, la amplitud disminuye y la frecuencia también por el roce del aire
E5Y	1 Las vibraciones son transversales 2 en ellas disminuye la frecuencia, la amplitud, etc. por ello no es MAS 3 El peso de la masas del extremo no permite que haya oscilaciones armónicas
E6L	1. No es un MAS según el modelo matemático; 2. las oscilaciones de la barra varían. 3. El Movimiento es Oscilatorio Amortiguado, hay elementos de dispersión de energía

De estos textos se identifican los siguientes conceptos-en-acción, CEA, activados por los estudiantes: *MAS* (4), *periódico* (1), *longitud de la barra* (1), *roce* (2), *amplitud* (2), *frecuencia* (2), *disipación de energía* (1), *oscilación* (3), *vibración* (1), *oscilación armónica* (1), *oscilación amortiguada* (1). Se observa variabilidad entre los estudiantes, tanto en cantidad como en significados.

Derivado de la observación cualitativa del fenómeno, cuatro (4) estudiantes establecen que no es un Movimiento Armónico Simple, sin embargo, los factores que consideran para argumentarlo varían: dos estudiantes (E2H, E4J) infieren la existencia de roce del aire, pero sólo uno de ellos (E4J) toma como evidencia la disminución de la amplitud y la frecuencia. Otro estudiante (E6L) establece que hay elementos de dispersión de energía sin explicitar qué evidencias tiene para ello, solo describe en forma general que las oscilaciones varían; y otro (E5Y) toma directamente la observación de la amplitud y la frecuencia para concluir. Para estos cuatro estudiantes pareciera que el concepto de MAS está asociado a los conceptos de oscilación con amplitud y frecuencia constantes. El estudiante E1C pareciera que asocia el concepto de

<sup>5</sup> MAS, movimiento armónico simple

MAS con el concepto de periódico, la observación de que se detiene parece que lo llevó a activar esquemas asociados a otros tipos de movimientos, pues clasifica al MAS como variado (retardado o acelerado). Los estudiantes variaron la longitud de la barra para observar las oscilaciones, sin embargo, solo E2H mencionó la existencia de relación entre el período y la longitud de la barra.

El nivel de representación fue solo verbal, aunque E6L hace mención a un modelo matemático que describe el MAS, no lo representa.

La relación que establecen entre los primeros CEA permite suponer el uso de algunos teoremas-en-acción, TEA; algunos son sólo afirmaciones y otras son relaciones condicionales. Los TEA inferidos son:

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 disminuyen, el movimiento no es MAS.*
4. *La amplitud y la frecuencia disminuyen debido al roce, por lo tanto no es un MAS.*
5. *Si las oscilaciones varían, se disipa energía por lo que la oscilación es amortiguada.*
6. *El periodo de oscilación depende de la longitud de la barra.*
7. *El peso de la carga hace que las oscilaciones no sean armónicas.*

En los TEA (3 y 4) se observa que las relaciones precisan variables como: amplitud y frecuencia. En todos parece haberse presentado un conflicto entre el esquema asociado a un sistema masa-resorte sin roce (MAS) y la situación-problema propuesta; uno (E6L) menciona un esquema alternativo que denomina amortiguado y otro (E1C) presenta tipos de MAS .

En la siguiente sesión de clase se estableció una discusión entre los estudiantes en relación a las respuestas iniciales, la cual se grabó en audio. Esta actividad se consideró como *entrevista colectiva*. Para esta clase los estudiantes tuvieron oportunidad de revisar fuentes de información como: cuadernos y textos de cursos anteriores, páginas webs, libros de texto. La discusión la comienza el estudiante E6L, quien toma la palabra por un buen tiempo, como se observará en las siguientes transcripciones. El primer

episodio de su exposición, fragmentada en unidades de análisis se presenta a continuación:

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 .....

Al comparar la UA 2 del inicio con la UA 7, pareciera haber sustituido el concepto de *oscilación* (expuesto en el inicio) por el concepto de *Amplitud*. En el resto del texto: UA- 4 a 7, UA- 8 a 12, UA-13 a 16, reitera y precisa su TEA inicial.

A partir de este momento E6L comienza a proponer acciones y métodos relacionados con la actividad experimental, se observa que hace mención nuevamente a un modelo que guía estas acciones (UA 17).

17. Creo que se pueden medir amplitud y período o frecuencia, por ser las magnitudes más sensibles en este modelo
18. Podemos medir el coeficiente de elasticidad
19. se puede medir o calcular por algunas características del material.
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.
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.....
27. La ecuación que encontramos es la que ya conocemos del móv. armónico amortiguado (escribe en a pizarra)  $x(t) = Ae^{-\gamma t} \cos(\omega t + \varphi)$
28. Determino gamma ( $\gamma$ ) con las amplitudes y la lámpara estroboscópica.

Participa el docente con una pregunta: *No se entiende lo de gamma y la lámpara.*

29. Es decir, este factor (señalando  $\gamma$  en el exponente) es el que va a hacer que esto (señalando la A) se reduzca,
30. por que para un instante t tiene un valor, pero después de un tiempo, es menor.
31. El factor que determina todo esto, es éste que esta acá (señalando en la relación a la frecuencia angular)
32. Si yo sé cual es  $\omega$ , voy a poder sintonizar la lámpara con el movimiento de la barra.
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.
34. De esta forma voy a poder medir la amplitud, para diferentes tiempos....

Se observa por el discurso su intención de planificar el trabajo experimental para la contrastación de la hipótesis (UA 5) tras la cual existe un modelo que expresa simbólicamente en la UA 27. En estos fragmentos subyacen conceptos relativos a lo metodológico como: *medir, calcular parámetros, método de medida, magnitudes sensibles, sincronizar*. Además incorpora nuevos CEA de orden teórico derivados del esquema asociado al modelo seleccionado como son: *coeficiente de elasticidad, características del material, posición, posición máxima, coeficiente de amortiguación, frecuencia angular*.

Con la intención de invitar a los demás estudiantes a participar se preguntó: *¿Y qué decimos de la segunda pregunta?*. Sin embargo, el estudiante E6L continúa diciendo:

- 35 Si dejamos la masa fija (referido a la pesa), se controla, nos vamos a fijar en la longitud y medir la frecuencia de oscilación de la barra.
- 36 La longitud directamente no esta en esa relación (relación que no han explicitado aun), pero es necesario saber la longitud para saber la frecuencia

Se observa que aparece el concepto de *control*, para el estudio de relaciones (longitud y frecuencia). También se observa que la necesidad de estudiar esta relación surge de la observación, reconociendo que el modelo seleccionado no la describe (UA 36).

El estudiante E4J interrumpe diciendo:

2. Lo que altera la frecuencia sería la k de la barra, el coeficiente de restitución, pero como la k no varía....

Este estudiante incorpora una relación que corresponde al modelo asociado al MAS, lo cual no es discutido por el resto, ya que a continuación interviene otro estudiante, E5Y, retomando la pregunta planteada:

4. Básicamente en relación con la pregunta ¿de qué depende la frecuencia?.
5. Nosotros (refiriéndose al estudiante E1C) 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.
6. Este.., para llegar a algún tipo de diseño que nos permita llegar a las características de ese movimiento,
7. este.., se nos ocurrió así como los gráficos de los libros que hemos usado, y en fotografía (curso tomado) se que hay unas cámaras que permiten 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, si se ajusta esta obturación a la que necesito. Se toman todas las fotos
8. y usando un sistema de referencia se puede ver el desplazamiento de la barra en el tiempo en que se toma la foto,
9. y considerando T, se puede ver si la frecuencia se mantiene constante,
10. y así podemos ver si es amortiguado o no, si es MAS.
11. Había que hacer pruebas con diferentes tiempos de obturación hasta que encuentre uno que me congele la imagen.

Esta estudiante incorpora unas variables asociadas a la frecuencia que no habían sido mencionadas antes (UA 5), las cuales parecen tener un origen intuitivo, sin embargo, no vuelve a hacer referencia a ellas. Luego explicita la intención del trabajo (UA 6) y derivado de ello se plantea la necesidad de establecer un procedimiento experimental, con el cual obtener mediciones del desplazamiento de la barra en el tiempo, y del período. En el procedimiento está implícito el concepto de sincronización para medir tiempos por comparación. Se observa que los aspectos a medir están asociados con una hipótesis que no se explicita: *La variación o no de la amplitud de las oscilaciones y de la frecuencia permite discriminar si el movimiento es amortiguado o no*, (UA 8, 9 y 10); relacionándolo con su planteamiento inicial, esto parece derivarse del TEA 3 inferido de las respuestas iniciales.

Interviene su compañero E1C:

3. Las ecuaciones que ella (E5Y) pensó me parecen que no son.

Esta participación evidencia el uso de modelos simbólicos que no habían sido expresados por su compañera. Por lo cual, se le preguntó: *¿Por qué te parece que no son ?*

Responde E1C:

4. Bueno en verdad no lo discutimos. No le pusimos condiciones, pero en principio,
5. pensamos en la barra, que había que darle una pequeña fuerza para desequilibrarla.
6. si uno tiene una pequeña porción de la barra y la pone a oscilar con una pequeña fuerza, necesitamos que esa cámara que tome fotos muy rápido muy rápido, por lo menos 80 fotos por seg., no sé todavía porqué.
7. Si uno toma una longitud grande uno la ve oscilar suave, pero si uno toma una longitud pequeña vemos que la barra oscila mas rápido, entonces necesitamos que tome muchas fotos. ....
8. Escribe en la pizarra la ec.

$$m \frac{d^2x}{dt^2} = -kx - B \frac{dx}{dt}$$

Se puede notar que el estudiante E1C, encuentra que la expresión simbólica que han considerado (UA 8) no le dice nada acerca de la relación que observa entre lo rápido o lo lento de la oscilación según sea la longitud de la porción que oscila. Sin embargo, no argumenta su desacuerdo y cesa su intervención.

Retoma la discusión el estudiante E6L, para avalar la expresión con la cual E1C no está de acuerdo.

- 37 Esta es la ecuación de movimiento de una oscilación amortiguada, esta es la representación.
- 38 Si le quitamos este factor que esta acá, lo pinto en rojo ( $-B(dx/dt)$ ) nos queda una ... ecuación de MAS. Ok, sin esto que esta acá (señala  $-B(dx/dt)$ ), esto representa el MAS.
- 39 Simplemente la aceleración hay que igualarla a la Fuerza restauradora, el negativo implica que esta fuerza ( $kx$ ) va estar en el sentido opuesto a esta otra (lado izquierdo).
- 40 Por eso es que el movimiento va ser oscilatorio.
- 41 Ahora, cuando yo considero lo que esta en rojo ( $-B(dx/dt)$ ), quiere decir que hay otra fuerza que actúa en esa misma barra y al actuar esa fuerza sobre la barra, ya el movimiento deja de ser armónico,
- 42 porque ya esa fuerza disipa una cantidad de energía tal que la barra termina deteniéndose,
- 43 y esta fuerza, o mejor dicho esta interacción es la interacción con el medio que le rodea.
- 44 Por que esto es (señala,  $-B(dx/dt)$ ) la fuerza de roce con respecto a la velocidad, ....

45 Por eso cuando se alarga la barra se veía que el detenerse era mucho, mucho mas lento.

46 A medida que la hacemos mas corta se ve que se detiene mas rápido,

47 eso quiere decir que este coeficiente ( $B$ ) es mayor

48 eso es otra prueba de que esta ecuación representa lo que estábamos viendo (refiriéndose a MAA) y no precisamente la del MAS.

El estudiante E6L, relaciona las dos formas simbólicas surgidas en la discusión y las asume como válidas para describir las observaciones que han realizado. De este texto concluye que el movimiento es oscilatorio dado que la fuerza restauradora es  $-kx$ , lo cual supone como válido. Por otra parte, surge una nueva relación: *si la longitud de la barra disminuye, las oscilaciones son más rápidas y se detiene más rápido, y viceversa, por lo que el factor de amortiguación  $B$  debe aumentar, concluyendo que este modelo es mas ajustado.* Además, se asocia la disipación de energía con la fuerza de roce (UA 42).

Se intervino llamando la atención acerca de la presencia de diferentes variables en las dos expresiones simbólicas del modelo que han seleccionado: “*Pero en la ec. de abajo (la solución de la ec. diferencial para el movimiento amortiguado) no aparece el valor de  $k$ , ni de  $B$  (constante de relación entre la  $F$  de roce y la Velocidad,) y ¿quien es  $\omega$ ?*”, a lo cual responde el estudiante E6L:

49. En el exponente aparece ese valor de  $B$ .

Se intervino preguntando de nuevo: ¿Y el omega? ¿Es igual a  $k/m$ ? (expresión que habían mencionado antes)

E4J: 3. no, es igual a  $(k/m)^{1/2}$

E6L: 50. Y la solución de esta ecuación es (escribe otra vez la ec. solución del mov. amortiguado), *sen* o *cos*, y depende de las condiciones iniciales.

Con la conversación establecida, estos estudiantes consideran haber dado respuesta a las demandas iniciales de la situación-problema.

A continuación, interviene por primera vez la estudiante E2H, y dice:

3. Si la fuerza de rozamiento es muy grande entonces el movimiento ya no sería periódico, el cuerpo pasa del desequilibrio al reposo nuevamente.
4. En el Mov. A. Amortiguado, comienza con un valor A de amplitud y va disminuyendo continuamente.
5. De las ec., bueno, son todas las que vimos en la pizarra.
6. (Dibuja la gráfica de  $x-t$  para un móv. armónico amortiguado y señala la envolvente de los máximos. Muestra que el factor de:  $Ae^{-\gamma t}$  representa el decaimiento de A y a este lo representa en el gráfico, la curva formada por los valores de A).

Esta estudiante representa gráficamente el modelo que describe el comportamiento de un movimiento amortiguado, relacionándolo con las expresiones anteriores, con lo cual ratifica lo dicho hasta el momento.

La información externa buscada por cada estudiante y la discusión entre pares, le permitió al grupo incorporar algunos CEA nuevos: *oscilación (suave ó rápida), fuerza de roce, fuerza de restitución, MAA<sup>6</sup>, frecuencia angular, constante de elasticidad, constante de amortiguación, masa (barra, pesa, posición de la barra), sistema de referencia, cambios en el tiempo.*

También se infieren algunos CEA relacionados con lo metodológico: *medir, método de medida, variable a medir, medida directa, medida indirecta, variable a controlar.* Tal como se mostró en algunos de los textos de los estudiantes.

En la entrevista colectiva predominó el discurso del estudiante E6L, las intervenciones de los otros estudiantes complementaban o ratificaban sus ideas y razonamientos con expresiones, como, (E2H): “De las ecuaciones, bueno, son todas las que vimos en la pizarra (refiriéndose a lo escrito por E6L) (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:  $Ae^{-\gamma t}$ )”

Y después que E6L presentó el modelo matemático del MAA, E4J dice:

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

El análisis de contenido de la entrevista colectiva permitió explicitar los siguientes TEA, los cuales fueron considerados como producto del grupo:

<sup>6</sup> MAA, movimiento armónico amortiguado

◆ El MAS se caracteriza porque 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:

$$y(t) = Ae^{-\gamma t} \cos(\omega t + \varphi) \quad (\text{ec. 1}) \quad \acute{o}$$

$$m \frac{d^2 y}{dt^2} = -kx - B \frac{dy}{dt} \quad (\text{ec. 2})$$

donde,  $\gamma$  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  $Ae^{-\gamma t}$

◆ 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. Por último,

◆ 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 sus esquemas y que les permitió construir una explicación de la

observación. Un solo estudiante (E6L) explicitó el contraste entre algunos aspectos del sistema y el modelo tentativo, así avaló el modelo matemático (UA 26 a 30).

A partir de las *reglas de acción* generadas se infiere la activación de conceptos-en-acción y teoremas-en-acción que hemos catalogado como propios de la actividad experimental, los cuales evidencian un nivel de desarrollo conceptual bastante limitado desde la perspectiva de la ciencia en este campo. Estos CEA y TEA se presentan a continuación:

*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”*

Al final, el grupo de estudiantes parece haber construido un esquema por consenso, conformado con IO derivados que corresponden a: i) dos esquemas diferentes, el asociado a situaciones acerca de MAS y el de situaciones asociados con MAA; ii) observaciones, 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 esta observación; y iii) elementos de esquemas asociados a tareas propiamente experimentales.

El grupo culminó la fase I del TL planteando un conjunto de preguntas claves, las cuales se exponen a continuación:

1. ¿Cómo varía la frecuencia en función de la longitud de la barra?
2. ¿En qué factor disminuye la amplitud?
3. ¿El sistema se aproxima a un MAS para longitudes grandes?
4. ¿Cómo se puede medir la fuerza disipativa?

En atención a las preguntas planteadas y los recursos presentados, los estudiantes por pares elaboraran el plan de diseño experimental para realizarlo en la sesión siguiente, esto se asignó como trabajo fuera del aula.

### **7.5.2 Proceso experimental**

El diseño experimental (Fase II) establecido por los estudiantes nuevamente se centraba solo en establecer las variables a medir y los métodos para realizar dichas mediciones con los recursos disponibles, con lo que se ratifica uno de los TEA iniciales.

Este plan no le permitió a los estudiantes ejecutar ninguna actividad experimental, por lo que esta subtarea se convirtió en un subproblema.

Para poder continuar, se sugirió que consideraran las preguntas propuestas y planificaran el trabajo para buscar una respuesta o contrastar una hipótesis. A partir de ello organizaron el trabajo en dos **experimentos**, el primero para dar respuesta al estudio de la relación entre frecuencia y longitud (pregunta 1), y el segundo para estudiar las relaciones posición-tiempo y amplitud-tiempo necesarias para las preguntas 2 y 3.

**7.5.2a.** En el primer **experimento**, la tarea era estudiar *una relación entre variables*. Se inició con acciones de ensayo y error, dirigidas a medir la frecuencia; poco a poco, fueron estableciendo acciones más sistemáticas para medir la frecuencia ( $f = N/t$ ):

- midieron el tiempo  $t$  para  $N$  oscilaciones,
- probaron con diferentes valores de  $N$  y con diferentes amplitudes iniciales,
- compararon los valores de frecuencia obtenidos, y
- concluyeron que no cambiaba. Fijaron un valor de  $N$  y de amplitud inicial;
- midieron el tiempo  $t$  para un  $N$  fijo con el fin de determinar la frecuencia ( $f$ ) con distintos valores de  $L$ . Las longitudes que tomaron fueron valores aleatorios, no hubo toma de decisiones previa acerca de en cuánto variar  $L$ .

Cabe destacar que en la discusión inicial sobre el modelo considerado, habían asumido que la frecuencia dependía de la constante  $k$  y de la masa  $m$  de la pesa; se retomó esta expresión y se generó la necesidad de introducir como ajuste la expresión

$$\omega_o = \left( \frac{bd^3Y}{4ML^3} \right)^{1/2} \text{ (ec. 4), indicando las referencias para su lectura posterior. Como}$$

consecuencia, midieron: masa de la pesa, masa de la barra, dimensiones de la barra y buscaron el valor del coeficiente de Young para el supuesto material de la barra, los cuales se consideraron fijos.

En síntesis, el experimento se hizo sin explicitar un diseño experimental previamente, y sin discriminar las variables independiente, dependiente e intervinientes. Ello ratifica que la tarea de **diseñar el experimento** se resuelve con un esquema que tiene implícitos los siguientes IO:

CEA: Variable, medición, relación entre variables, control

TEA: “Al estudiar una relación entre dos variables es necesario cambiar una variable, medir 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. Se sugirió que pensarán en la precisión de las medidas realizadas y analizarán la variabilidad en las mismas para decidir cuántas veces se tenían que repetir. 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**, se observaron cuadros bien organizados, identificando las variables y las unidades. Pero, no se indicaba el error en ninguna medida (directa o indirecta). Cabe destacar que estos estudiantes habían cursado dos laboratorios en los cuales se había tratado 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 (ec. 4) presentado como alternativa más próxima al problema, ni propuesta de un modelo que describiera el comportamiento mostrado por los datos.

Este trabajo reflejaba desarrollo conceptual de los estudiantes en relación con las tareas de: **procesamiento, transformación e interpretación de datos, y producción de conclusiones**, es muy intuitivo. Además, pareciera que estas subtarefas son ejecutadas como un todo que no fue percibido como problemático, ya que su ejecución fue bastante automática, por lo que interpretamos que activaron un esquema del cual se derivaba una secuencia de acciones estándar, la cual consiste en:

*i Organizar los datos en Cuadros, identificando las variables y las unidades (sin considerar errores).*

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

*iii Describir el comportamiento de los datos en términos comparativos “ a mayor X mayor (o menor) Y”*

**7.5.2.b.** En el segundo **experimento** -relaciones posición-tiempo y amplitud-tiempo- hubo necesidad de intervenir tanto con la introducción de procedimientos de medición

(medidas de posición en tiempo real<sup>7</sup>), como con el procesamiento y transformación de los datos recogidos (uso de programas; se empleó el Excel de Microsoft, por ser el programa que los estudiantes manifestaron conocer).

Los estudiantes establecieron que era necesario medir la posición en función del tiempo de la pesa para diferentes longitudes en atención a las preguntas 2 y 3. Una vez recogidos los datos, los estudiantes repitieron las acciones del experimento anterior pero ahora con ayuda del Excel: *Cuadros bien organizados, gráficos  $y=f(t)$  y lectura descriptiva de éstos*. Esta observación ratifica la conclusión producida con el experimento anterior.

Aún cuando este TL tenía como objetivo conocer el desarrollo conceptual de los estudiantes, fue necesario intervenir en el trabajo mostrando algunas funciones del programa de cálculo para la transformación de los datos, como: funciones matemáticas (medias, desviaciones, correlaciones, otros); cálculo de parámetros relevantes a partir de la data; graficación, análisis de los gráficos modelando o con ajuste de tendencias; otros. También se discutió acerca de aspectos como: modelo científico, relación dialéctica modelo-data, ajuste de tendencia de los datos, ecuación empírica.

Después de esta intervención, los estudiantes trabajaron de manera individual con la data obtenida; sus progresos y dificultades se iban discutiendo en grupo en el aula. De este proceso, medianamente dirigido, surgió una secuencia de acciones para el procesamiento y análisis de los datos:

- *Construcción de gráficas posición-tiempo y amplitud-tiempo;*
- *Verificación de la constancia de la frecuencia para cada caso,*
- *Análisis de tendencia de la gráfica  $A:f(t)$ ,*
- *Cálculo de los parámetros: frecuencia angular, constante de fase; determinación del coeficiente de amortiguación, derivados del modelo*
- *Contrastación de la curva de  $y:f(t)$  obtenida según el modelo (ec.1) con la curva  $y:f(t)$  experimental.*

El proceso de transformación y análisis de los datos obtenidos o derivados de los dos experimentos para el estudio de la relación entre frecuencia y longitud (pregunta 1),

---

<sup>7</sup> 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 Pro<sup>TM</sup>, Vernier LabPro; Vernier Software&Technology).

así como la interpretación y producción de conclusiones, fueron dejados como asignación para que cada estudiante lo realizara de manera independiente; con la finalidad de indagar acerca de los IO surgidos frente a estas nuevas subtareas.

### **7.5.3. Producción final.**

En la producción final se incluyen tanto los reportes de los estudiantes como las reflexiones solicitadas al finalizar el trabajo de laboratorio. Los resultados de estos dos registros serán presentados a continuación.

**7.5.3.a.** Los **reportes o informe finales** formaban parte de la evaluación del curso. Para su ejecución, la única indicación que se les dio fue que debían contener todos los elementos del plan general (Figura 7-2). Consecuente con ello, el contenido de los mismos fue analizado en cinco secciones: análisis conceptual, descripción de los eventos, procesamiento y transformación de los datos, análisis de los datos y conclusiones; también se consideró la coherencia entre ellos.

Los reportes se clasificaron en dos categorías no totalmente excluyentes: *estándar* y *evolucionado*. Se consideró *reporte estándar* a aquel que tradicionalmente se observa en los informes de los estudiantes, donde si bien se encuentran todas las secciones consideradas, la información contenida en ellos no está integrada. El análisis conceptual es un resumen conceptual del tema en el cual está inmerso el TL, pero de él no se derivan implicaciones para la actividad experimental realizada y menos aún para el análisis de datos. Las transformaciones de datos que se presentan reflejan acciones rutinarias con poco significado, además no son analizadas.

En el *reporte evolucionado* se observa coherencia entre las diferentes secciones, e integración entre lo teórico y lo experimental. El análisis conceptual tiene como finalidad presentar un modelo explicativo que resuelva el problema planteado y oriente la actividad experimental. El procesamiento y las transformaciones de datos se hacen en atención al modelo asumido como posible solución, en las conclusiones se observa la triangulación entre: las preguntas planteadas, los resultados y lo esperado según el modelo (hipótesis).

**Cuadro 7-2.** Síntesis de los reportes finales de los estudiantes.

<i>Reporte estándar (N: 2)</i>	<i>Reporte evolucionado (N: 3)</i>
<b>Análisis Conceptual</b>	
<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 en 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>
<b>Descripción de los eventos</b>	
<p>Centrado en la descripción verbal de las acciones de medición. Sin precisiones experimentales como: diseño experimental, variables y discriminación entre ellas, caracterización de instrumentos, consideraciones de errores. Diagramas o dibujos de los montajes.</p>	
<b>Procesamiento y transformación de los datos</b>	
<p>Los datos son presentados en Cuadros, debidamente identificadas, sin ajuste en las cifras significativas. La medidas directas que realizan varias veces, se acompañan de la media y la desviación estándar. Las medidas indirectas obtenidas de cálculos o gráficos se presentan sin errores.</p> <p>Las transformaciones que se presentan fueron solo las acordadas en grupo para el estudio de las relaciones <math>y:f(t)</math> y <math>A:f(t)</math></p>	<p>Los datos son presentados en Cuadros, bien identificados, con el ajuste de cifras significativas en función de lo errores experimentales, tanto en el caso de datos de medidas directas como de medidas indirectas.</p> <p>Se presentan las transformaciones acordadas para las relaciones <math>y:f(t)</math> y <math>A:f(t)</math>. Se incorporan otras que no fueron explicitadas en clase, a fin de analizar la relación <math>\square-L</math>.</p>
<b>Análisis de datos</b>	
<p>A pesar de que se hacen las transformaciones necesarias para el análisis de las relaciones <math>y:f(t)</math> y <math>A:f(t)</math>, no se analiza.</p>	<p>Los informes permiten inferir la secuencia de acciones que guió la tarea de análisis de datos. Sólo el estudiante E6L lo explicitó: “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 según modelo y data”</p>

## Conclusiones

Las conclusiones son expresadas como descripciones verbales generales derivadas de las gráficas. Sin alusión a los modelos.	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
---	--

En el Cuadro 7-2 se presenta una síntesis de los reportes finales según estas dos categorías elaboradas. Tres estudiantes evidenciaron autonomía y evolución en las conceptualizaciones con el trabajo realizado, dos en mayor grado; mientras que el progreso de los otros dos estudiantes está más centrado en procedimientos. Estas diferencias se ven ratificadas por los estudiantes en las reflexiones.

**7.5.3.b.** Las **reflexiones** de los estudiantes estaban dirigidas a promover una toma de conciencia acerca del aprendizaje, los progresos y las dificultades que habían confrontado durante la realización del trabajo de laboratorio. A tal efecto, y dado que los estudiantes nunca habían realizado este tipo de actividad, se formularon unas preguntas para guiar esta reflexión, las cuales se presentan en el Cuadro 7-3. Las respuestas de los estudiantes fueron categorizadas en atención a su contenido.

**Cuadro 7-3.** Preguntas guía para la reflexión de los estudiantes acerca del aprendizaje y las dificultades confrontadas.

<p>Con el fin de canalizar las reflexiones de cada uno les propongo los siguientes puntos:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Reflexionando sobre el trabajo que hiciste, ¿cómo y en qué momentos relacionaste los modelos teóricos y el experimento?</li> <li>2. ¿Cómo fue el experimento que realizaste para dar respuesta a la pregunta: ¿cómo se relaciona la frecuencia angular con la longitud de la barra? ?</li> <li>3. ¿Qué criterios guiaron el análisis de la gráfica de amplitud –tiempo?</li> <li>4. ¿Qué aprendiste en cuanto a: el tema de oscilaciones; los procedimientos experimentales; los procedimientos computacionales; los procedimientos comunicacionales; otros.</li> <li>5. Ventajas y desventajas de emplear los elementos del plan general representado en la V de Gowin para ejecutar y comunicar el trabajo de laboratorio, frente al tradicional Informe de laboratorio.</li> <li>6. Diferencias y semejanzas entre el proceso seguido en este primer ciclo de laboratorio III y la forma de trabajar en los cursos de laboratorio de semestres anteriores.</li> </ol>
---

En cuanto a cómo y en qué momentos se establecieron relaciones entre los modelos y el experimento, se obtuvo que los cinco estudiantes consideran que eso era necesario para las transformaciones y análisis de los datos, lo cual se corresponde con las respuestas dadas a la pregunta 3. Tres estudiantes consideraron que se establece una relación modelo-experimento desde el momento en que se analiza la situación-problema y se diseñan los experimentos en busca de respuestas a las preguntas.

Sin embargo, en las respuestas a la pregunta 2, sólo un estudiante describió las transformaciones que hizo con los datos en función del modelo derivado del análisis conceptual del problema. Cabe destacar que los estudiantes establecieron la necesidad de estudiar la relación entre la frecuencia y la longitud de la barra derivado de la observación del fenómeno, a pesar de que el análisis teórico derivado por ellos incluía un modelo que no relacionaba de manera explícita estas variables, ya que mantenía los elementos del esquema de los problemas de sistemas masa-resorte. Fue durante el trabajo propiamente experimental cuando se les sugirió un modelo que se suponía se podía ajustar mejor al problema de la barra y donde estas variables aparecían de forma explícita. Por las respuestas dadas a la pregunta 2 y de los reportes pareciera que este segundo modelo fue incorporado al esquema inicial construido para el problema, sólo por tres estudiantes.

En la pregunta 4, se le solicita, específicamente, pensar acerca de qué aprendió. Las respuestas de los estudiantes se sintetizan en el Cuadro 7-4, donde se puede resaltar que sólo tres estudiantes lograron comprender el significado de los factores incluidos en el modelo de oscilador amortiguado, y cómo en función de éstos se orienta el diseño del experimento y el análisis de los datos. Estos estudiantes son los mismos cuyos reportes se calificaron como evolucionados. La mayoría consideró que aprendieron a manejar el programa Excel de manera mas amplia e integral para el procesamiento y análisis de los datos. Además, la incorporación de las medidas en tiempo real les resultó innovador.

El uso del plan general representado en la V de Gowin (Figura 7-2) como guía del proceso y de la elaboración del reporte, fue considerado por los estudiantes como ventajoso. Las opiniones dadas al respecto fueron:

(E1C) “Es mas fácil de dar a conocer los resultados de una investigación manteniendo su debido orden”
(E4J) “Una herramienta muy buena para comunicar los trabajos experimentales”
(E5Y) “Ofrece orientación para manejar la información desde sus inicios permite observar mejor la interacción entre la teoría y los métodos para analizar un evento a través de preguntas claves que limitan y encaminan de forma organizada, con secuencia y sentido, la experimentación y el informe final”
(E6L) “Es lo suficientemente flexible como para trabajar con el, la secuencialidad de los contenidos y su interrelación permite, o bien, derivar el paso siguiente o integrar el paso anterior en el contexto de lo expresado”
(E2H) “Llevamos de manera organizada el proceso”

**Cuadro 7-4.** Aprendizajes logrados en opinión de los estudiantes

Estudiante	Aprendizajes			
	Tema oscilaciones	Experimental	Computacional	Comunicacional
E1C	Profundicé en el tema	Ser cuidadoso con las mediciones	Me facilitó la observación, la manipulación de los datos y la contrastación modelo-resultados	No responde
E2H	No responde	No responde	Manejo integral del Excel Uso del equipo de medidas en tiempo real	No responde
E4J	Comprendí los factores que intervienen en el movimiento amortiguado	No responde	Uso del equipo de medidas en tiempo real	No responde
E5Y	Comprendí los factores que intervienen en el movimiento amortiguado	El diseño esta en función de las preguntas y los recursos disponibles	Manejo integral del Excel Uso del equipo de medidas en tiempo real	Guiar la redacción del informe según los elementos de la V de Gowin
E6L	Comprendí los factores que intervienen en el movimiento amortiguado. Complejidad de los fenómenos y rol del modelo	No responde	Manejo integral del Excel Uso del equipo de medidas en tiempo real	No responde

Cabe destacar que a juicio de los estudiantes, 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 7-5).

**Cuadro 7-5.** Diferencias entre el TL realizado y sus experiencias anteriores según los estudiantes:

En este curso.....
(E1C) Son los estudiantes los que establecen condiciones y acciones de trabajo en base a la discusión y búsqueda de información.
(E4J) El montaje y las preguntas experimentales son producidos por los estudiantes con la orientación del docente. Permite que el estudiante aporte algo más de lo que el profesor espera.
(E5Y) El uso de las preguntas claves como norte del trabajo. Se orienta a los estudiantes para que establezcan el camino a seguir, en función de las preguntas. El trabajo realizado produce satisfacción porque uno lo siente propio y con sentido.
(E6L) Se realiza una discusión entre pares acerca del modelo teórico que podía responder al problema. El trabajo es de creación y planificación, y no, de repetición o seguimiento de instrucciones como antes.

## 7.6 CONCLUSIONES

Las conclusiones serán expuestas en atención al conjunto de preguntas claves expuestas al inicio de este capítulo (apartado 7-2), orientadoras del estudio piloto. El análisis del proceso cognitivo durante el TL permitió dar respuesta a las siguientes preguntas:

1. ¿Qué Invariantes Operatorios activan los estudiantes ante las diferentes tareas y subtareas del TL demandadas por la situación-problema presentada en el campo conceptual de oscilaciones armónicas como punto de partida del primer trabajo de laboratorio a realizar en un curso de laboratorio?

En primer lugar, se destaca que en cursos previos, los estudiantes habían estudiado el tema de oscilaciones, pero no habían realizado experiencias de laboratorio relacionadas con el mismo. Por ello se espera que ante la situación planteada en este TL, se activen conceptos de este campo para su abordaje. Sin embargo, el significado

dado a los conceptos estará en función de la nueva situación, por lo que podrá diferir del significado que ellos habían aprendido en situaciones anteriores.

Al respecto 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 en cursos anteriores, pero que también contienen otros elementos, por lo general, implícitos y que en algunos casos están contrapuestos a lo que la ciencia acepta.

Los invariantes operatorios iniciales se ratificaron y precisaron durante la entrevista colectiva, en la cual intervino de manera no controlada la información buscada por los alumnos (libros, notas de clase de cursos anteriores, páginas web, otros), y el intercambio de significados en la discusión. Así, se conformó un esquema para abordar la situación, aceptado por consenso, que contiene: conceptos-en-acción, teoremas-en-acción y reglas; con diferentes formas de representación, lenguaje verbal de carácter descriptivo y lenguaje simbólico de carácter cuantitativo formal matemático y gráfico. En las conceptualizaciones empleadas se observó el uso de algunos conceptos que corresponden a aprendizajes previos, como: *amplitud, frecuencia, periodo*, entre otros, y el uso de algunos términos que corresponden a conceptos científicos pero con un significado menos preciso o diferente, como es el caso de: *movimiento armónico, oscilación amortiguada*.

En relación con la conceptualización referida a lo metodológico, variaba según la tarea. En todo caso, los esquemas de los estudiantes se consideran bastante primitivos desde la perspectiva de la ciencia y poco relacionados con las conceptualizaciones teóricas. En función de la tarea se puede concluir que los esquemas de los estudiantes contienen:

- “*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 en relación a su uso para medir las variables identificadas como necesarias para evaluar de manera directa o indirecta las variables de interés.

- *“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 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, 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.
- *“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 el mismo patrón de acciones en diferentes situaciones; el cual consistía en: i) organizar los datos en cuadros identificando las variables (símbolo e unidad) sin indicar errores; ii) graficar  $Y: f(X)$  y; iii) hacer una lectura descriptiva del gráfico. No establecieron relaciones con posibles modelos, 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, se hicieron transformaciones de los datos.

Este nivel de desarrollo conceptual es comprensible, dado que en cursos anteriores, tal como ellos mismos señalaban en las reflexiones, su trabajo se limitó básicamente a ejecutar acciones establecidas por el docente; por ejemplo el estudiante E5Y expresó:

*“... normalmente es impuesto el montaje por el profesor y se estudia el fenómeno en forma de responder las preguntas planteadas por el profesor”;*

y el estudiante E6L dijo:

*“los prácticas se hacían de forma dirigida, sin ningún tipo de planificación por parte de los estudiantes, lo que hacía del laboratorio .... una acción de repetición de experiencias”.*

Desde la teoría de Campos Conceptuales, se puede concluir que si el TL se centra en la ejecución de acciones en forma aislada, sin problematizarlas, ni contextualizarlas

en un situación-problema marco, no se promueve la interrelación entre el dominio teórico y el dominio metodológico; entre los modelos y los resultados.

2. ¿El desarrollo de un TL a partir de una situación problema y mediado según lo describe el modelo MATLaF promueve cambios en las conceptualizaciones en los estudiantes?

El desarrollo de las fases del plan general del TL (Figura 7-2) se observó que al inicio, los estudiantes las ejecutaban sin establecer conexiones entre ellas, como tareas independientes. En la medida en que se avanzó en el TL, se hicieron algunas mediaciones y se fueron haciendo explícitas estas conexiones. Esto se refleja en los reportes finales de tres estudiantes, en quienes se observó coherencia interna.

Del análisis de los reportes finales y su comparación con el estado inicial de los estudiantes, se concluye que al menos en tres estudiantes se alcanzó una mayor comprensión del modelo de oscilación amortiguada, así como del significado y ejecución de tareas como: *diseño experimental, evaluación de errores experimentales, interjuego entre modelo-resultados, análisis de tendencias*.

3. ¿Qué dificultades conceptuales, tanto en el dominio teórico como en el metodológico, se identifican en los estudiantes en relación con la realización de este TL ?

Al finalizar el TL se puede decir que dos de los estudiantes tienen problemas para establecer relaciones entre los modelos y la actividad experimental en todas las fases del plan general. En sus reportes, la sección referida al modelo conceptual no se asociaba con las acciones experimentales descritas, y los análisis e interpretaciones de los resultados se limitaban a la descripción de los gráficos, sin transformaciones, ni contrastaciones; en consecuencia, las conclusiones eran declaraciones imprecisas.

Los otros tres estudiantes, si bien mostraron evolución en comparación con los planteamientos iniciales, a la luz de sus reportes y sus reflexiones, requieren ampliar sus esquemas en cuanto a las tareas propiamente experimentales: i) *diseño experimental*, requieren precisión en conceptos como *variables dependiente, independiente e intervinientes, control, interacción entre variables*; ii) *medición*, requieren mayor

dominio de los conceptos de *error, precisión, propagación de errores, confiabilidad de las medidas*; iii) *procesamiento y transformación*, requieren de más situaciones para continuar desarrollando los conceptos relativos a ello y profundizar en el rol de los modelos en estas tareas.

Fue expresado por los propios estudiantes que era la primera vez que se veían ante la tarea de diseñar un experimento y establecer los criterios y acciones para las transformaciones de los datos y la interpretación de resultados, por lo cual, sus actuaciones no fueron totalmente autónomas. Como lo plantea la teoría de campos conceptuales, es ante la diversidad de situaciones como los individuos van construyendo y ampliando sus conceptos, por ello, en general se hace necesario que los estudiantes sean expuestos a nuevas y diferentes situaciones de TL que demanden la construcción de nuevos esquemas asociados con las tareas experimentales dentro de cada campo conceptual teórico.

A efecto de la enseñanza, la identificación de los IO y esquemas empleados por los estudiantes en este trabajo de laboratorio, permitió establecer el estado inicial del desarrollo conceptual de los estudiantes en este campo. Así, en el marco del curso de laboratorio, este primer TL desarrollado y analizado según el MATLaF, resultó útil para identificar los aspectos de aprendizaje que deben ser atendidos de manera intencional en los subsiguientes trabajos de laboratorio del curso.

4. ¿El modelo MATLaF permite describir y analizar el desarrollo de un TL ejecutado a partir de una situación problema?

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, 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 las conceptualizaciones relacionadas con lo teórico y con lo metodológico, así como la relación que establecían entre ellas.

La comparación entre los esquemas iniciales a la tarea central y a las subtarear propiamente experimentales, con lo expresado en los reportes finales, permitió dar cuenta del nivel de desarrollo conceptual de los estudiantes y la evolución que pudo ocurrir. Con lo cual, *mirar* el proceso cognitivo desarrollado durante el TL mediante el

MATLaF, permite identificar los significados empleados por los estudiantes y conocer su nivel de desarrollo conceptual desde la perspectiva científica.

Por otra parte, como el MATLaF se enmarca en la teoría de Campos Conceptuales, el TL es visto como una tarea compleja en donde se da permanente interrelación entre lo conceptual y la acción, incluyendo en el primer aspecto tanto lo relativo al dominio teórico como al dominio metodológico, y en lo segundo, los procedimientos típicos de la actividad experimental y del pensamiento científico, expresados en el plan general (Figura 7-2). En este contexto, el TL parece ser un espacio adecuado para promover una visión de ciencia no estándar como la descrita por Andrés y Pesa (2003) (Cap. 4).

Para finalizar, concluimos que la situación problema propuesta en este estudio piloto resultó ser novedosa para los estudiantes como se supuso en base a su historia académica. En primer lugar los estudiantes no tenían un esquema preste para resolver el problema. Luego, se observó que con las respuestas iniciales individuales y la discusión posterior, se formó un esquema que combinaba elementos conceptuales correspondientes a diversas clases de problemas: sistema masa-resorte oscilando armónicamente, con y sin amortiguación. Por otra parte, las tareas propiamente experimentales fueron percibidas como rutinas, no resultaron problemas.

## **CAPÍTULO 8**

**DESARROLLO CONCEPTUAL EN UN  
TRABAJO DE LABORATORIO ANALIZADO  
SEGÚN EL MODELO MATLaF EN EL  
CONTEXTO DEL TEMA DE ONDAS  
MECÁNICAS**

## CAPÍTULO 8

### DESARROLLO CONCEPTUAL EN UN TRABAJO DE LABORATORIO ANALIZADO SEGÚN EL MODELO MATLaF EN EL CONTEXTO DEL TEMA DE ONDAS MECÁNICAS

#### 8.1 INTRODUCCIÓN

El trabajo de laboratorio (TL) en este estudio es considerado como un espacio natural para el aprendizaje en el dominio metodológico y el dominio teórico interrelacionados, y para el desarrollo de concepciones acerca de actividad experimental cónsonas con las visiones epistemológicas actuales de la actividad. En atención a ello se ha propuesto el modelo MATLaF derivado de la Teoría de Campos Conceptuales (Vergnaud, 1990) para comprender y guiar el aprendizaje durante la ejecución de un TL, cuya viabilidad en el contexto de un TL específico fue evaluada en el estudio piloto. También se ha establecido un plan general de acción para el TL, derivado de la epistemología de la ciencia que orienta la acción didáctica. A partir del diagnóstico realizado en el estudio piloto, sobre el desarrollo conceptual de los estudiantes en el dominio metodológico, se realizó un TL considerado como ensayo de la propuesta en el contexto de un curso de Laboratorio de la carrera de profesores de física en el Instituto Pedagógico de Caracas de la Universidad Pedagógica Experimental Libertador, Venezuela, donde los objetivos de aprendizaje en los diferentes dominios estaban explícitos. En este Capítulo reportamos los resultados del ensayo.

#### 8.2 PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN DEL ENSAYO

En atención a lo anterior, este ensayo intenta dar respuesta a la siguiente interrogante:

¿El desarrollo del TL según el modelo MATLaF descrito en el capítulo 5 y guiado por el plan general derivado desde una perspectiva epistemológica de la actividad científica como un proceso de permanente interjuego entre aspectos teóricos y metodológicos representado en la Fig.8-1, promoverá en los estudiantes *aprendizajes* del dominio *conceptual teórico-metodológico* y del dominio *epistemológico*?

El campo conceptual seleccionado para el desarrollo del TL según los lineamientos propuestos, corresponde a *Ondas Mecánicas en medio no dispersivos*. Ello implica la identificación de clases de situaciones que le dan significado a conjuntos de conceptos interrelacionados, los cuales son expresados mediante representaciones aceptadas por la comunidad científica. En atención a las situaciones problemas seleccionadas dentro de este campo, con el fin de que su abordaje en el laboratorio permita mediar el aprendizaje de la física, se formularon las siguientes preguntas claves específicas.

¿Qué Invariantes Operatorios activan los estudiantes ante las situaciones-problema presentadas en relación con el campo conceptual de Ondas Mecánicas en medios no dispersivos?

¿Qué dificultades conceptuales en los dominios: teórico, metodológico y epistemológico, se identifican en los estudiantes con relación a las situaciones-problema del TL, dentro del campo conceptual de Ondas Mecánicas en medios no dispersivos?

¿El desarrollo de un TL mediado según el modelo MATLaF descrito en el capítulo 5, que se centra en la resolución de situaciones-problema relativos a: la naturaleza de las ondas, la propagación de las ondas y la dependencia de la velocidad de la onda con otras variables, y que es orientado por el plan general representado en la Fig.8-1, facilitará en los estudiantes *aprendizajes* previamente establecidos dentro del dominio *conceptual teórico-metodológico* y del ámbito *epistemológico*?

### **8.3 METODOLOGÍA GENERAL DEL ENSAYO**

El ensayo se desarrolló como un estudio de casos de tipo interpretativo, en el cual se evaluó el aprendizaje alcanzado como resultado de las intervenciones mediadoras, derivadas del modelo MATLaF y del plan general de acción propuesto para la ejecución de los trabajos de laboratorio de física, en el marco de un curso de Laboratorio correspondiente a la carrera de profesor de Física.

Los estudiantes que participaron en el estudio, correspondían al curso de Laboratorio III, en el periodo Mayo – Noviembre, 2003, el cual tenía una matrícula de seis<sup>1</sup> (6) estudiantes. Éstos tenían conocimiento del trabajo de investigación que se

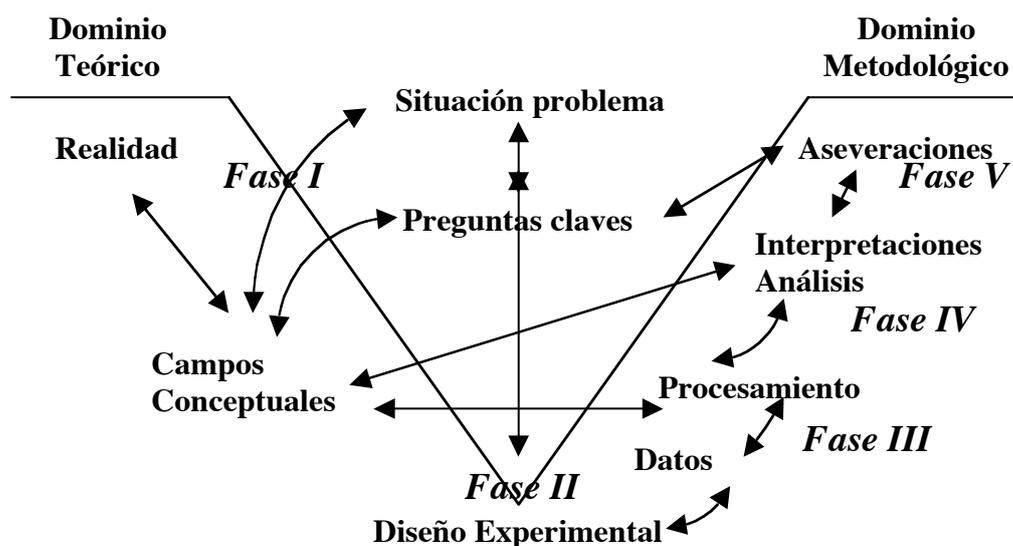
---

<sup>1</sup> Solo se analizó el trabajo de cinco estudiantes, dado que no se recabó toda la información de uno de los participantes.

estaba realizando y de su rol como participantes. Su experiencia con el laboratorio consistía en dos cursos previos, uno referido a mecánica (cinemática, dinámica de la partícula), y otro a electricidad y magnetismo (campo eléctrico, circuitos DC y AC); en los cuales los TL fueron realizados dentro de un esquema tradicional, es decir, el trabajo experimental está previamente planificado por el docente, con énfasis en la recolección, el procesamiento y la transformación de datos para el logro de objetivos propios del experimento. Además, estos estudiantes son los mismos que participaron previamente en el estudio piloto reportado en el Capítulo 7 de este informe. Por otra parte, el docente del curso fue quien llevó a cabo la investigación.

El trabajo de laboratorio de este ensayo se desarrolló en 20 horas de clase (4 semanas). La estrategia didáctica siguió el plan derivado de una perspectiva epistemológica de la ciencia (Andrés y Pesa, 2003) representado en la figura 8-1; en este plan se establecieron cinco (5) fases interrelacionadas: *Fases: I.* Análisis conceptual del problema; *II.* Diseño experimental; *III.* Recolección y Evaluación de datos; *IV.* Transformación, Análisis e Interpretación de datos; *V.* Conclusiones y Divulgación. Este esquema fue presentado y analizado con los estudiantes como modelo general de la actividad a realizar en el trabajo de laboratorio en el ámbito de resolución de problemas.

**Figura 8-1.** Plan general para el desarrollo de un Trabajo de Laboratorio. Fases: I. Análisis conceptual del problema; II. Diseño experimental; III. Recolección y Evaluación de datos; IV. Transformación, Análisis e Interpretación de datos; V. Conclusiones y Divulgación



Considerando el modelo MATLaF, las preguntas del estudio y la metodología derivada de dicho modelo cuya evaluación se expuso en el Capítulo 7, se tomaron **cuatro (4) momentos** durante el desarrollo del TL, para la recolección de información relativa al proceso de aprendizaje de los estudiantes (ver figura 5-4). Estos son:

**I) Identificar invariantes operatorios (IO) de los estudiantes asociados con el dominio conceptual teórico específico.** El TL comenzó con la presentación de tres cuestionarios, cada uno dirigido a un aspecto particular del tema de ondas: Naturaleza de las ondas, propagación de la ondas y dependencia de la velocidad de las ondas con otras variables. Los estudiantes se enfrentaron a las situaciones problema, primero en forma individual para expresar por escrito sus ideas, y posteriormente, en forma colectiva en el aula, participando en una discusión entre pares en torno a la ideas iniciales. Entre ambas sesiones, cada estudiante realizó de manera espontánea otras acciones como buscar información externa. Esta actividad forma parte de la Fase I del plan didáctico. A efecto del estudio, la discusión se consideró como una entrevista colectiva que fue grabada en audio.

Los resultados obtenidos en este momento indagatorio, unidos al estudio de los IO relacionados con el dominio metodológico del estudio piloto (capítulo 7), permiten definir el nivel de desarrollo conceptual inicial de los estudiantes y sus dificultades de comprensión. A partir de ello se hicieron explícitas las metas de aprendizaje del TL.

En función de lo anterior y dentro del marco del modelo MATLaF se planificó la mediación que el docente debía realizar durante las fases II a V del TL.

**II) Desarrollo de la mediación didáctica.** Considerando que el docente medió el aprendizaje durante la ejecución de las fases II a IV del TL en atención a las metas establecidas según las dificultades previamente identificadas y a los lineamientos derivados del modelo MATLaF, fue pertinente y necesario recabar información del proceso didáctico implementado, utilizando un registro anecdótico que llevó el docente.

**III) Evaluación de los aprendizajes logrados.** El TL enfrentaba a los estudiantes ante situaciones problema no conocidas, además, su resolución fue intencionalmente mediado por el docente según el modelo MATLaF. En consecuencia, se esperaba que el abordaje y el dominio final de las situaciones propuestas en este TL promovieran aprendizajes significativos en los estudiantes. Para ello, fue necesario obtener evidencias de la evolución de sus conceptualizaciones. En tal sentido, se llevó a

cabo la contrastación entre el estado inicial (momento I) y el estado final del desarrollo conceptual relativo al tópico abordado, tanto en el dominio teórico como en el dominio metodológico. Este último evidenciado por las producciones escritas de los estudiantes: los reportes finales y las respuestas a dos nuevas situaciones propuestas después de la ejecución de los reportes.

**IV) Reflexión acerca de los logros obtenidos.** La toma de conciencia acerca del aprendizaje alcanzado es importante en este enfoque, por lo tanto, siguiendo el modelo MATLaF se incluyó al final de este TL (después de la entrega y presentación del reporte final) una actividad de reflexión acerca de los logros alcanzados con el ensayo, los cuales fueron reportados por escrito.

También, se hizo una entrevista individual a los estudiantes con la intención de conocer su visión acerca del trabajo realizado y sus aprendizajes, realizada al culminar el curso completo.

Por último, tanto las reflexiones escritas como las entrevistas permitieron profundizar en el análisis de la evolución conceptual en el dominio epistemológico.

#### **8.4 RESULTADOS DEL MOMENTO DE INVESTIGACIÓN I: INVARIANTES OPERATORIOS**

Como se planteó en la sección anterior, en atención al modelo MATLaF, el primer momento del trabajo de laboratorio (TL) para la recolección de información con fines investigativos, está dirigido a *Identificar invariantes operatorios (IO) de los estudiantes asociados con el dominio conceptual teórico*. El TL en este ensayo comienza con la presentación de tres (3) cuestionarios (Anexo 8-A), cada uno contentivo de varias situaciones-problema que se enmarcan en el campo conceptual de Ondas Mecánicas en medios considerados no dispersivos. Cada cuestionario focaliza un tópico del tema:

Cuestionario 1: Naturaleza de las ondas.

Cuestionario 2: Propagación de las ondas.

Cuestionario 3: Relación entre velocidad de la onda y otras variables como: frecuencia, propiedades del medio, otras.

A cada estudiante se le propusieron las situaciones en forma individual para que respondiera por escrito a los planteamientos, y posteriormente, en forma colectiva en el

aula, se propició una discusión entre pares en torno a las ideas iniciales. Entre ambas sesiones, los estudiantes buscaron información en sus textos, apuntes de cursos anteriores y páginas web. El análisis de los discursos escritos y orales permitió dar cuenta de los IO activados por los estudiantes en relación al dominio de los campos conceptuales referidos al tema de ondas y al metodológico.

Los instrumentos para la recolección de datos empleados fueron:

- a) Situaciones-problema con preguntas, en forma escrita (Cuestionarios 1, 2 y 3)
- b) Guión de preguntas para entrevistas, dirigidas a profundizar en los significados de los estudiantes y precisar los IO activados para la resolución de las situaciones presentadas.

Los cuestionarios fueron aplicados a dos grupos de estudiantes ( $N_1:6$ ;  $N_2:7$ ) como actividad inicial al desarrollo de una serie de TL relativos a Ondas, en el contexto del curso de laboratorio III ofertado en momentos distintos. La entrevista colectiva se realizó a los mismos estudiantes del estudio piloto ( $N_1:5$ )

El análisis de contenido de las respuestas se hizo en tres etapas.

#### Etapa 1

1. Las respuestas (solución y argumentación) individuales de los estudiantes fueron analizadas y clasificadas en términos de los elementos constitutivos (IO) del esquema empleado.

2. Se establecieron categorías de respuestas en función de lo anterior. Con este sistema de categorías se volvió a las respuestas individuales para clasificarlas.

3. La correspondencia de las respuestas escritas con las categorías fue validada mediante la triangulación con un grupo de docentes de física cursantes de la maestría en Enseñanza de la Física.

4. Síntesis de frecuencia por cada categoría.

#### Etapa 2

1. La entrevista colectiva fue transcrita identificando las verbalizaciones de cada uno de los estudiantes. Se seleccionaron los textos relevantes como unidades de análisis, las cuales fueron numeradas correlativamente por orden de aparición y por estudiante.

2. Los IO identificados de las respuestas escritas son revisados a la luz del análisis de los textos de los discursos orales.

### Etapa 3

Se establecieron las dificultades identificadas en los estudiantes en relación con los tópicos del tema de ondas abordados en las situaciones propuestas.

Con miras a culminar la fase I del plan de acción didáctica, se solicitó a los estudiantes que formularan las preguntas relevantes para el diseño experimental del TL en ejecución. Para ello se indicó que tomaran en cuenta los aspectos que resultaron consensuados y aquellos que generaron controversias en la discusión en grupo.

## 8.4.1 Descripción de los Cuestionarios

### 8.4.1.1. Cuestionario 1: Naturaleza de las ondas

A efecto de identificar los invariantes operatorios que activan los estudiantes ante situaciones relacionadas con la **naturaleza de las ondas mecánicas**, se presentaron cinco situaciones para que los estudiantes analizarán si correspondían o no a movimientos ondulatorios, argumentando su respuesta (Cuestionario 1, anexo 8-A). Entre los planteamientos, se tiene uno que corresponde a una oscilación (péndulo), dos casos de propagación de ondas (ondas en la superficie del agua y ondas sonoras), y dos que son análogos figurativos pero que no corresponden a ondas: la *ola humana* en el stadium y el movimiento de una serpiente. Estas cuestiones son una adaptación del instrumento empleado por Bravo y Pesa (2002).

Desde la física, los conocimientos asociados a la naturaleza de las ondas mecánicas para abordar estas situaciones serían, conceptos como: *perturbación, propagación, medio elástico, fuente de perturbación, velocidad de la onda, frecuencia, amplitud, transporte de energía, no transporte de materia*, que se relacionan descriptivamente de la siguiente manera: *Un perturbación periódica, producida por una fuente vibratoria, se propaga a través de un medio elástico no dispersivo, sin que éste sea transportado y sirviendo sólo para el transporte de energía. La onda tendrá una frecuencia  $f$  determinada por la fuente y una velocidad  $v$  determinada por las propiedades del medio, y ambas determinan la longitud de la onda  $\lambda$ , según la relación  $\lambda = v/f$  (French, 1995; Crawford, 1968; Feynman; Leighton, y Sands, 1964)*

#### **8.4.1.2. Cuestionario 2: Movimiento de las partículas del medio al propagarse la perturbación**

El cuestionario 2 (anexo 8-A) presenta dos situaciones en las cuales se propaga un pulso u onda; en una de ellas, el medio es visible (cuerda tensa) y en la otra, el medio no es perceptible a simple vista (aire). Y en ambos casos se pregunta ¿cómo se moverá una “partícula” del medio? y ¿con qué variables asocian este movimiento? La segunda situación fue tomada de una prueba diagnóstica sobre ondas, desarrollada por Wittmann, Steinberg y Redish (2001).

Desde el punto de vista físico, en un medio elástico no dispersivo, la onda mantiene su misma forma (función) durante la propagación, y las características del movimiento oscilatorio de las partículas del medio durante el paso de las ondas están asociadas a las características de la vibración de la fuente. Este modelo de onda se basa en el supuesto de que la perturbación que se propaga produce pequeños cambios en el medio. Así, en las ondas transversales, por ejemplo en una cuerda, los cambios de posición en la dirección perpendicular a la de la propagación de la onda,  $y$ , de los trozos infinitesimales del medio,  $dx$ , deberían ser pequeños; y en el caso de ondas sonoras la densidad o presión del medio en la zona perturbada no se debería alejarse mucho de los valores promedio que caracterizan a dicho medio (French, 1995)

#### **8.4.1.3 Cuestionario 3: Relación entre: Velocidad de la onda, frecuencia de la fuente y propiedades del medio.**

Como ya se señaló, en diversos estudios relativos a los razonamientos y modelos empleados por los estudiantes ante cuestiones relacionadas con la ondas mecánicas, señalan que éstos evidencian dificultades en comprender las variables que determinan la propagación de las ondas y la interdependencia entre ellas (Maurines, 1992; Bravo y Pesa, 2002, 2004; Wittmann, 1998; 2002). En este trabajo se analizó concretamente cómo relacionaban la frecuencia de la fuente, la velocidad de la onda y las propiedades del medio.

Con la finalidad de poder contrastar con resultados de otros trabajos se elaboró un cuestionario con dos problemas (Cuestionario 3, anexo 8-A), adaptados de la prueba diagnóstica que sobre ondas desarrollaron Wittmann, Steinberg y Redish (2001). Los problemas se refieren a contextos diferentes, uno es sobre sonidos que se propagan por el aire, y el otro, se trata de un pulso que se propaga por una cuerda tensa. En el primer

problema se cambian algunas condiciones como, frecuencia y amplitud (volumen) del sonido, y se pregunta cómo afectaría ello al tiempo que demora la onda sonora en recorrer una distancia fija. En el segundo problema, se desea cambiar el tiempo que tarda el pulso en viajar una determinada distancia y para ello se ofrecen varias opciones, cada una de las cuales implica un cambio en alguna de las variables siguientes: período (frecuencia), amplitud, propiedades del medio (densidad de la cuerda, tensión), fuerza de la mano (fuente).

El modelo de onda mecánica más simple, construido desde la física, considera a la velocidad de propagación de la onda dependiente de propiedades del medio, las cuales varían según sea éste: sólido, líquido o gas; e independiente de la frecuencia y amplitud de las vibraciones de la fuente que genera la perturbación. En consecuencia, sólo los cambios en las propiedades del medio, como tensión y densidad lineal en el caso de cuerdas, o presión y densidad volumétrica en los gases, afectarían a la velocidad de la onda, y por lo tanto, al tiempo que tarda en recorrer la onda una cierta distancia. (French, 1995)

#### **8.4.2 Análisis e Interpretación de Resultados del Momento I desde la Teoría de Campos Conceptuales**

A continuación se presentan los resultados de la aplicación de los tres cuestionarios y la entrevista colectiva analizados a la luz de la teoría campos conceptuales.

##### **8.4.2.1 Etapa 1. Respuestas escritas.**

Las respuestas escritas de los estudiantes se procesaron de la siguiente manera:

- Los textos se fragmentaron en episodios según su significación o intencionalidad. Cada uno se dividió en unidades de análisis, UA, que pueden ser: frases, oraciones o grupos de oraciones.

- De las UA se identificaron los conceptos-en-acción (CEA) y teoremas-en-acción (TEA), los cuales podían estar explícitos o se inferían del discurso.

- Se identificó el nivel representacional (analógico, verbal, simbólico matemático o gráfico, u otro) empleado por los estudiantes, en lo relativo al concepto de ondas.

- A continuación se establecieron las categorías de respuestas según los TEA evidenciados en las respuestas.

El resultado de este trabajo se presenta en el Cuadro 8-1. En él se explicitan los CEA y los TEA que los asocian, extraídos de diferentes estudiantes (N:13). También se presentan categorías de significados establecidas en atención a los TEA identificados. El nivel representacional observado en las respuestas, fue de tres tipos: descriptivo, pictórico y simbólico.

Los CEA surgidos ante las situaciones presentadas, en su mayoría corresponden a términos empleados en la ciencia: Energía, materia, transporte, propagación, dirección, onda, perturbación, independencia, partículas, medio, otros (Cuadro 8-1). Sin embargo, los TEA evidencian que el significado de los CEA varía según la situación, y en algunos casos no se corresponde con el significado asignado desde la concepción científica.

Los TEA<sup>2</sup> de los estudiantes con significados más coherentes con los científicos, se resumen a continuación (Cuadro 8-1). En algunos TEA se ha mantenido en lenguaje de los propios estudiantes.

1. La onda transporta energía
2. La onda no transporta materia
3. Las personas en la *ola humana* actúan independientes, en cambio las partículas en un medio donde se propaga una perturbación no son independientes
4. La onda es una perturbación que se trasmite por un medio
5. La perturbación origina la oscilación (sube y baja) en torno a una posición de equilibrio de las partículas del medio (agua, cuerda tensa), haciendo observables crestas y valles.
6. La perturbación la produce una fuente (lancha, cuerdas vocales vibrando, mano)

---

<sup>2</sup> La numeración corresponde a la asignada en el Cuadro 8-1

7. El sonido se propaga como una perturbación longitudinal en el medio.
8. Las características del movimiento de la fuente determinan las características de la oscilación de las partículas del medio por donde se propaga la perturbación.
9. La velocidad de la onda depende del medio en donde se propaga
10. Las figuras o formas similares a la representación empleada para las ondas constituyen un efecto perceptual que no es relevante para decidir científicamente que la situación presentada sea una onda.
11. Una oscilación armónica sólo se asemeja pictóricamente a una onda, es decir, la representación de la función seno o coseno de la oscilación armónica es similar a la representación de una onda, lo cual no es un criterio científico para considerar que sea una onda.
13. Las partículas del medio (personas en el problema de *ola humana*) oscilan (suben y bajan) por lo cual es una onda.
15. La rapidez (del sonido) se puede determinar por la relación entre la distancia que recorre el sonido y el tiempo que emplea en hacer el viaje.
20. La frecuencia es el número de veces de un evento (oscilaciones) por unidad de tiempo
22. La rapidez del sonido equivale a la distancia recorrida por su frecuencia ( $v = d \cdot f$ )
23. El volumen del sonido corresponde a su intensidad, y ésta depende de la amplitud de la onda.

De las respuestas de los estudiantes se identificaron también algunos TEA (Cuadro 8-1) que no resultan coherentes con significados de la física, y que en consecuencia los llevaron a presentar soluciones no esperadas desde esta perspectiva. Estos TEA identificados en los estudiantes son:

12. La perturbación, refiriéndose a una onda, es la oscilación de las partículas del medio.
14. Como las personas sólo *oscilan* una a continuación de la otra quedándose en su lugar, se considera como una onda que se propaga por el medio (personas) sin transportar materia y transportando energía

16. La rapidez de una partícula del medio que oscila es igual a la rapidez del pulso que se propaga por el medio.
17. La onda es un objeto material.
18. La onda posee cantidad de movimiento ( $p=mv$ ).
19. La onda colisiona con las partículas del medio.
21. La velocidad de la onda equivale (o depende) a la frecuencia de ella.
25. La longitud de onda depende de la intensidad (amplitud) de ella.
26. La velocidad de la onda depende de la amplitud de ésta.
27. Si cambia la intensidad del sonido varía su velocidad de propagación
28. Las ondas se encuentran y se absorben unas a otras.

**Cuadro 8-1.** Conceptos-en-acción (CEA) y teoremas-en-acción (TEA) activados por los estudiantes (N:13) ante situaciones relacionadas con el tema de: naturaleza de la onda, propagación de la onda y dependencia de la velocidad de la onda con otras variables; y las categorías de significado.

Situación	CEA	TEA	Categoría de significado
Cuestionario 1, situaciones: 1, 2 y 5	Energía, materia, transporte, propagación, dirección, onda, perturbación, independencia, partículas, medio	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. La onda transporta energía</li> <li>2. La onda no transporta materia</li> <li>3. Las personas en la <i>ola humana</i> actúan independientes, en cambio las partículas en un medio donde se propaga una perturbación no son independientes</li> <li>4. La onda es una perturbación que se trasmite por un medio</li> </ol>	<p>A. Reconocen que alguna de las características de las ondas no está presente en la situación y la describen:</p> <p>A.1. Existe transporte de materia.</p> <p>A.2 Las partículas del medio están aisladas, funcionan de manera independiente unas de otras.</p> <p>A.3. Reconocen la no existencia de las características de las ondas pero no las describen.</p>
<p>Cuestionario 1, situaciones: 3, 4 y 5</p> <p>Cuestionario 2, situaciones: 1 y 2</p> <p>Cuestionario 3: situación 1 (a y b)</p>	<p>Oscilación, posición de equilibrio, fuente de perturbación, onda, propagación, valles, crestas, longitudinal, materia, medio, transporte, energía.</p> <p>Velocidad de la onda.</p>	<p>TEA: 1, 2 y 4</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>5. La perturbación origina la oscilación (sube y baja) en torno a una posición de equilibrio de las partículas del medio (agua, cuerda tensa), haciendo observables crestas y valles.</li> <li>6. La perturbación la produce una fuente (lancha, cuerdas vocales vibrando, mano)</li> <li>7. El sonido se propaga como una perturbación longitudinal en el medio.</li> </ol>	<p>E. Reconocen la situación, asociándola a un esquema consistente con el de la ciencia:</p> <p>E.1. Uso de un esquema específico (oscilación) para describir la situación.</p> <p>E.2. Uso de un esquema específico (oscilación) para describir la situación discriminándolo de otro (onda).</p>

Situación	CEA	TEA	Categoría de significado
		<p>8. Las características del movimiento de la fuente determinan las características de la oscilación de las partículas del medio por donde se propaga la perturbación.</p> <p>9. La velocidad de la onda depende del medio en donde se propaga</p>	
Cuestionario 1, situaciones: 2 y 3	Onda (forma)	10. Las figuras o formas similares a la representación empleada para las ondas constituyen un efecto perceptual que no es relevante para decidir científicamente que la situación presentada sea una onda	B. Reconocen que se trata solo de una analogía pictórica.
Cuestionario 1, situación 5	Movimiento armónico, oscilatorio, onda sinusoidal.	11. Una oscilación armónica sólo se asemejan pictóricamente a una onda, es decir, la representación de la función seno o coseno de la oscilación armónica es similar a la representación de una onda, lo cual no es un criterio científico para considerar que sea una onda.	F Reconocen la situación (oscilación) discriminándola con otra (onda), aunque señalan semejanza pictórica entre la gráfica de la función armónica y la representación de la onda
Cuestionario 1, situación 2	Perturbación, oscilación, medio, partículas, transporte, materia, energía	<p>12. La perturbación, refiriéndose a una onda, es la oscilación de las partículas del medio.</p> <p>13. Las partículas del medio (personas en el problema de <i>ola humana</i>) oscilan (suben y bajan) por lo cual es una onda.</p> <p>14. Como las personas sólo <i>oscilan</i> una a continuación de la otra, y una perturbación se</p>	D. Asocian el movimiento de sube y baja de las personas, con el de las partículas del medio, sin considerar la existencia de ligaduras entre estas últimas.

Situación	CEA	TEA	Categoría de significado
		propaga por el medio (personas) sin transportar materia y transportando energía	
Cuestionario 2, situación 1 pregunta b	Rapidez, distancia, tiempo, rapidez del pulso, rapidez de la partícula del medio	15. La rapidez (del sonido) se puede determinar por la relación entre la distancia que recorre el sonido y el tiempo que emplea en hacer el viaje. 16. La rapidez de una partícula del medio que oscila ( <i>trozo de cuerda</i> ) es igual a la rapidez del pulso que se propaga por el medio	H. Asocian la rapidez de las partículas del medio con la rapidez de la onda
Cuestionario 2, situación 2	Onda, partículas del medio, colisión, cantidad de movimiento.	17. La onda es un objeto material 18. La onda posee cantidad de movimiento ( $p=mv$ ) 19. La onda colisiona con las partículas del medio	I. Reconocen la situación como una colisión
Cuestionario 3: situaciones 1 y 2	Frecuencia, no. de oscilaciones, tiempo, rapidez, distancia recorrida, medio, intensidad, volumen, amplitud.	20. La frecuencia es el número de veces de un evento (oscilaciones) por unidad de tiempo 21. La velocidad de la onda equivale (o depende) a la frecuencia de ella 22. La rapidez del sonido equivale a la distancia recorrida por su frecuencia ( $v = d \times f$ ) 23. El volumen del sonido corresponde a su intensidad, y ésta depende de la amplitud de la onda.	J. Relacionan la velocidad de la onda con otras variables distintas a las que caracterizan el medio donde se propaga. J1 Igual frecuencia $f$ y amplitud del sonido $A$ implican igual velocidad del sonido. J2 La Velocidad de la onda $v$ depende de la frecuencia $f$ de esta y del medio donde se propaga.

Situación	CEA	TEA	Categoría de significado
		24. La intensidad es independiente de la frecuencia, en consecuencia por el TEA (21) no influye en la velocidad de la onda	J3 La respuesta se basa en un análisis aritmético. Ej. $v = fL$ , donde $L$ es la distancia recorrida por el sonido y $f$ es su frecuencia; $v \propto f$ .
	Los anteriores mas longitud de onda	25. La longitud de onda depende de la intensidad (amplitud) de ella. 26. La velocidad de la onda depende de la amplitud de ésta. 27. Si cambia la intensidad del sonido varía su velocidad	J4 Asocian la longitud de la onda con su amplitud.
Cuestionario 3: situación 1		28. Las ondas se encuentran y se <i>absorben</i> unas a otras	K. Consideran que la interferencia entre las ondas una vez que ocurre, es permanente.

A continuación se sintetizan los resultados por cada tópico abordado en los cuestionarios, mediante Frecuencias obtenidos en las categorías de respuestas.

#### 8.4.2.1.1 Frecuencias en las categorías de respuesta referido a: Naturaleza de las ondas

Por cada situación del cuestionario 1, se presentan en el Cuadro 8-2, los resultados de las respuestas de los estudiantes. En primer lugar, se indican totales que responden *Si es onda* ó *No es onda*; y en segundo término, las justificaciones de acuerdo a las categorías que se establecieron (Cuadro 8-1). La categoría G: *Autoridad acrítica*, se incorporó en aquellas respuestas donde sólo mencionan algún término derivado de la formulación científica sobre ondas mecánicas pero no dan información sobre su significado, siendo imposible identificar el IO asociado.

De las respuestas de los estudiantes, encontramos que en las situaciones 3, 4 y 5, todos responden conforme a la interpretación de la ciencia. El análisis del discurso de sus justificaciones, muestra que estos tres problemas resultaron conocidos para los estudiantes, ya que ellos pudieron identificar con facilidad la información relevante (presencia de características de ondas ó presencia de características de oscilaciones) y asociarlas a situaciones análogas; con lo cual activaron un esquema que les permitió resolver la situación sin dificultad.

Los esquemas activados ante estas tres situaciones se refieren a: *movimiento oscilatorio* en el caso del péndulo y *onda* en el caso de ondas en la superficie del agua y ondas sonoras, con bastante correspondencia con lo esperado desde de la ciencia. Además, en la situación del péndulo oscilando (#5), las categorías de respuesta E.2 y F evidencian seguridad al discriminar entre *oscilación* y *onda*. A continuación mostramos algunas de las respuestas de los estudiantes que dan cuenta del uso de estos esquemas:

Estudiante Y: *El movimiento es unidimensional, se comporta (la oscilación armónica del péndulo) en el tiempo de forma senoidal, pero no es una onda. Se está refiriendo a la función armónica de un péndulo oscilando*

Estudiante He: *Existe perturbación de las moléculas de agua que se trasmite de una a otra sin que exista desplazamiento de ellas.*

Estudiante Zo: *Es una onda sonora, la fuente perturba las moléculas del aire y esta perturbación viaja a través del aire llevando energía, no materia, que es la canción.*

**Cuadro 8-2.** Resultados obtenidos con el Cuestionario 1, por situación (N: 13).

Situación	Opción	Justificaciones categorizadas con frecuencias
1. El movimiento de una serpiente	No (10)	A.1. En la situación hay transporte de materia, negando una característica de las ondas (6) B. Reconocen que se trata de una analogía pictórica, la figura que se forma se asemeja a la imagen de una onda (3) G. Autoridad acrítica: <i>no siempre se mueve como onda</i> (1)
	Si (2)	G. Autoridad acrítica, dicen que <i>es una onda</i> (1)
2. La “ola” en un estadio de béisbol	No (9)	A.2. Reconocen que las partículas están aisladas por lo que no hay propagación (las personas son independientes) (4)* B. Reconocen que se trata de una analogía perceptual, la figura que se forma se asemeja a la imagen de una onda (3) A.3. No reconocen en la situación las características de las ondas, pero no explicitan ninguna (2)
	Si (4)	D. Las personas no se desplazan, solo se levantan y se sientan, no hay transporte de materia. La energía se transporta a través del movimiento de los brazos de las personas (4)
3. Las olas que se forman y llegan a la orilla, cuando en un lago tranquilo pasa una lancha.	Si (13)	G. Autoridad acrítica, dicen que es una onda (3) E.1 Reconocen las ondas en la superficie del agua como tal, describiendo algunas características de ellas (es transversal, surge de la perturbación de la lancha, el agua sube y baja pero no se desplaza a la orilla, se transporta energía, otros) (9)
4. Una canción que llega a nuestros oídos	Si (13)	E.1 Reconocen el sonido como onda sonora, describiendo algunas características de ella (es longitudinal, surge de la vibración de las cuerdas vocales, el aire se perturba por la fuente, se transporta energía, otros) (13)
5. El péndulo de un reloj funcionando	No (13)	E.1 Reconocen que es una oscilación, solo hay desplazamiento en torno a un punto central (2) F. Reconocen que se describe con el modelo del MAS**, el cual asocian con un modelo ondulatorio (al parecer por la forma de la grafica de la función seno) pero niegan que sea onda (5) E.2 Consideran que los modelos de movimiento oscilatorio y de onda son diferentes (4) A.3. No reconocen en la situación las características de las ondas, pero no explicitan ninguna (2)

\* Dos respuestas se incluyeron en dos categorías, B y A2

\*\* MAS: movimiento armónico simple

A pesar de que en las situaciones 3, 4 y 5, los estudiantes mostraron cierto automatismo en su solución, ante las situaciones 1 y 2 se observa que no todos los estudiantes las reconocen como miembros de la misma clase que las anteriores. Los resultados del Cuadro 8-1 muestran que hay un grupo de estudiantes que identifica estas situaciones como ondas (S1: 2; S2: 5), y para ello: emplean una significación, no

coherente con la científica en cuanto a algunas de las características de las ondas (categoría D); no argumentan su selección; o hacen uso de un término de la ciencia como referente de autoridad sin significado (categoría G).

#### **8.4.2.1.2 Frecuencias en las categorías de respuesta referido a: Movimiento de las partículas del medio al propagarse la perturbación.**

Los resultados encontrados para cada una de las situaciones del Cuestionario 2, se presentan en el Cuadro 8-3. En la situación 1<sup>1</sup>, *Pulso viajero en cuerda tensa*, se obtuvo que ante la pregunta **a** todos activan un esquema que relaciona el movimiento de las partículas del medio con el movimiento de la mano (fuente). En la pregunta **b**, siete estudiantes activan un esquema que asocia el movimiento de las partículas del medio con el movimiento de la mano (fuente), con diferente grado de precisión (categorías E1, E2 y E3), y cuatro estudiantes activan un esquema diferente que relaciona el movimiento de la partícula del medio con el movimiento de la onda. Pareciera que estos cuatro estudiantes consideran la tarea planteada en la primer pregunta como diferente a la propuesta en la segunda.

En la situación 2, *Onda sonora en el aire*<sup>2</sup>, el medio no es perceptible a simple vista, y la partícula a la cual se hace referencia debe ser imaginada; desde la física puede considerarse de la misma clase que la situación anterior. Se encontró que tres estudiantes reconocieron la situación dentro de la misma clase de la pregunta **a** del caso anterior (S1), y por ello activaron el esquema que asocia el movimiento de las partículas del medio con el movimiento vibratorio de la fuente, como lo evidencian algunas de las siguientes respuestas:

Estudiante Ca: *La partícula oscilará alrededor de una posición de equilibrio con un movimiento armónico simple, longitudinal; su frecuencia debe ser igual a la frecuencia del sonido, siempre que la partícula sea pequeña.*

---

<sup>1</sup> Una larga cuerda tensa está sujeta a una pared distante. Una persona mueve su mano hacia arriba y hacia abajo en un tiempo  $t_{mano}$ , creando un pulso de pequeña amplitud que llega a la pared en un tiempo  $t$  (ver diagrama) Un pequeño punto rojo es pintado sobre la mitad de la cuerda, entre la mano de la persona y la pared. Cuando el pulso pasa por el punto rojo:

a) ¿Cómo se mueve este pedazo de cuerda? Explique

b) ¿Cuánto tiempo dura el movimiento del punto rojo? Explique

<sup>2</sup> Una partícula de polvo está localizada en frente de un altavoz silente (ver figura). El altavoz es prendido y toca una nota a frecuencia constante. Describa el movimiento de la partícula de polvo. Explique su razonamiento.

Estudiante Wu: *Longitudinalmente, pero oscilando, primero hacia la derecha y luego hacia la izquierda*

Mientras que en la misma situación 2, diez estudiantes relacionaron el problema con colisiones de partículas, lo que los llevó a una solución diferente, tal como lo muestran algunas de las respuestas expuestas a continuación:

Estudiante Zo: *La perturbación en la corneta se trasmite al medio, el aire, la partícula de polvo es parte del medio y se moverá como éste en el sentido de la perturbación (dibuja dos flechas paralelas y en el mismo sentido, una señala la propagación de la onda y otra la del movimiento de la partícula).*

Estudiante Li: *La onda de sonido se propagará a través de todo el espacio del cual disponga, dependiendo de la frecuencia de la nota, aunque no será infinito. La onda arrastrará de manera casi lineal a la partícula de polvo hasta donde ya la onda sea muy débil. Como un tren que arrastra algo en su camino.*

Estudiante Y: *De derecha a izquierda (la corneta está a la derecha de la partícula dibujada, en la figura anexa a la situación, Cuestionario 2) las moléculas de las ondas sonoras que salen del altavoz se mueven de esta manera produciendo el movimiento del polvo.*

Como se indicó en la descripción de los cuestionarios, desde el punto de vista científico ambas situaciones demandan el mismo esquema para su resolución (ver apartado 8.4.1.2); sin embargo, para los estudiantes no resultó de esa forma; la mayoría activó esquemas diferentes para resolver cada una de las tareas. La situación 1 fue reconocida por la mayoría como parte del campo conceptual de ondas mecánicas. En cambio, para la mayoría, la situación 2 resultó no típica de ese campo, ya que si bien surgen expresiones relativas a ondas, las respuestas parecen tener como referente un esquema que considera a la onda como un objeto que sale de la fuente e interacciona con las partículas del medio, por lo que el movimiento de estas últimas depende del movimiento de la primera.

**Cuadro 8-3.** Resultados obtenidos con el Cuestionario 2, por situación (N: 13).

Situación	Justificaciones categorizadas con frecuencias
1. Pulso viajero en cuerda tensa.  (Pregunta a)	E.1. Reconoce la situación y asocia el tiempo del movimiento de oscilación de una partícula del medio con el tiempo del movimiento de la mano (9)  E.2. Reconoce la situación (4)
(Pregunta b)	E.1. Reconoce la situación y asocia el tiempo del movimiento de oscilación de una partícula del medio con el tiempo del movimiento de la mano (2) E.2. Reconoce la situación (2) E.3. Asocia el movimiento de oscilación de las partículas del medio con el de la mano, pero no cuantifica (3) H. Asocia el movimiento de las partículas del medio con la rapidez de la onda (8) G. Autoridad acrítica. Refiere a una ecuación, o una función sin explicar (2)
2. Onda sonora en el aire	E.1. Reconoce la situación y asume un movimiento de oscilación para la partícula del medio relacionado con la vibración de la corneta (4)  I. Reconoce la situación como una colisión entre la onda y las partículas de aire (10)

**8.4.2.1.3 Frecuencias en las categorías de esquema referido a: Relación entre Velocidad de la onda, frecuencia de la fuente y propiedades del medio.**

Los dos problemas del Cuestionario 3 fueron aplicados a los mismos estudiantes de los cuestionarios anteriores (N:13). Las respuestas han sido analizadas en atención a las categorías derivadas cuyos resultados se presentan en el Cuadro 8-4.

**Cuadro 8-4.** Resultados obtenidos con el Cuestionario 3, por situación (N: 13).

Situación	Justificaciones categorizadas con frecuencias
1. Miguel y Laura están parados con una separación de 100 m, y gritan “Yo” uno al otro exactamente en el mismo instante. La frecuencia y el volumen de sus voces es igual.  1.A ¿Cuál de las opciones siguientes es válida?  i Laura oirá primero a Miguel ii Miguel oirá primero a Laura iii Cada uno oirá al otro al mismo tiempo  Explique	Opción iii: (13) E. Reconoce la situación, asociándola a un esquema consistente con el de la ciencia (3)  E.1. Asocia el tiempo a la distancia recorrida y la velocidad del sonido, la que es constante debido al medio (2) E.2. Refiere que la velocidad del sonido depende del medio (1)  J. Relaciona la velocidad del sonido con su frecuencia y el medio (6)  J.1 Frecuencia constante implica Velocidad constante (2) J.2 Velocidad del sonido asociada a frecuencia y medio (1) J.3 Basado en análisis aritmético (3)
1.B. ¿Cambiaría su respuesta anterior? Si Laura gritase con menos volumen	No:11

Situación	Justificaciones categorizadas con frecuencias
<p>que Miguel e igual frecuencia Si _____ ¿cómo?</p> <p>No _____ ¿por qué?</p>	<p>E. Reconocen la situación, asociándola a un esquema consistente con el de la ciencia (5)</p> <p>E.1. Asocia el tiempo a la distancia recorrida y la velocidad del sonido, la que es constante debido al medio (1)</p> <p>E.2. Refiere que la velocidad del sonido depende del medio (4)</p> <p>J. Relaciona la velocidad del sonido con su frecuencia y el medio (6)</p> <p>J.1 Frecuencia constante implica Velocidad constante (3)</p> <p>J.2 Velocidad asociada a frecuencia y medio (3)</p> <p>Si:2</p> <p>J.4 Longitud de onda asociada a volumen (intensidad) (1)</p> <p>K. Se produce una interferencia en el medio que es permanente (1)</p>
<p><b>1.C.</b> ¿Cambiaría su respuesta anterior(A)? Si Miguel gritase con menor frecuencia que Laura e igual volumen.</p> <p>Si __ ¿cómo? No __¿por qué?</p>	<p>Si: 7 (Se aplicó a 7 estudiantes)</p> <p>J2. La velocidad del sonido depende de la frecuencia (1)</p> <p>J3. Basado en una relación aritmética (5)</p> <p>K. Se produce una interferencia en el medio que es permanente (1)</p>
<p><b>2.</b> Pulso viajando por una cuerda tensa: ¿Acciones factibles para variar la cantidad de tiempo que le toma al pulso llegar a la pared?:</p> <hr/> <p><b>2.A.</b> Mueve su mano mas rápidamente hacia arriba y hacia abajo con la misma distancia.</p>	<p>12 de 13</p> <p>J.2 Velocidad de pendiente de la frecuencia (2)</p> <p>J.3 Basados en una proporcionalidad derivada aritméticamente (10)</p>
<p><b>2.B.</b> Mueve su mano una distancia mas grande hacia arriba y hacia abajo en el mismo tiempo.</p>	<p>2 de 13</p> <p>J.1. No discrimina entre amplitud y frecuencia. (2)</p>
<p><b>2.C.</b> Usa una cuerda de diferente densidad, pero con la misma tensión.</p>	<p>2 de 13</p> <p>E Reconocen la situación, asociándola a un esquema consistente con el de la ciencia (2)</p>
<p><b>2.D.</b> Usa una cuerda de igual densidad, pero con mayor tensión.</p>	<p>3 de 13</p> <p>E. Asocian la situación a un esquema consistente con el de la ciencia (2)</p> <p>J2. El incremento de tensión afecta a la frecuencia y por ende a la velocidad (1)</p>
<p><b>2.E.</b> Pone más fuerza en la onda</p>	<p>2 de 13</p> <p>I. Modelo de partícula (1)</p>
<p><b>2.F.</b> Pone menos fuerza en la onda</p>	<p>0</p>
<p><b>2.G.</b> Ninguna de las anteriores causa el efecto deseado.</p>	<p>1 de 13</p> <p>J.3. Se orienta por una expresión matemática</p>

Al analizar las respuestas por categorías se observa que predomina la asociación de la velocidad con la frecuencia de la fuente generadora y con las propiedades del medio. Ello se evidencia en casi todas las cuestiones planteadas, en la situación 1, pregunta **A**, si bien todos responden lo esperado desde el punto de vista científico, seis estudiantes justifica la solución mediante una relación entre frecuencia  $f$  y velocidad de la onda  $v$ . Y luego en la pregunta **B**, nuevamente doce estudiantes responden según lo esperado, pero la argumentación predominante se fundamenta en la misma relación entre frecuencia  $f$  y velocidad de la onda  $v$ .

En la situación 2 para cambiar la velocidad de la onda, la opción que predominó (12 de 13) está asociada con un cambio en la frecuencia de la vibración de la fuente (opción A). Las opciones C y D que proponen cambios en las propiedades del medio fueron seleccionadas por una minoría, 2 de 13 y 3 de 13, respectivamente; hay que destacar que estos estudiantes también seleccionaron la opción A. Un grupo reducido, 2 de 13, también consideró factible el cambio en la velocidad de la onda, *ejerciendo más fuerza en la onda*, los argumentos dados a esta selección se basan en la segunda ley de Newton, es decir, en la noción de onda como objeto, TEA que ya había sido observado en la situación 2 del cuestionario 2.

En general, los resultados encontrados de la aplicación de los tres cuestionarios permiten exponer las siguientes conclusiones:

1. Estos resultados ponen en evidencia que los estudiantes ante diferentes situaciones relacionadas con ondas, consideradas como equivalentes desde la física, activan esquemas diferentes. Los esquemas activados por los estudiantes según su contenido conceptual, han sido clasificados según los IO, en tres tipos :

- i) Invariantes operatorios que pueden asociarse a los conceptos y propiedades de las ondas mecánicas en medios elásticos no dispersivos (TEA: 1 a 13, 15, 20, 22 y 23; Categorías: A, B, E y F / Cuadro 8-1)
- ii) Invariantes operatorios cercanos al modelo newtoniano de partícula. (TEA: 17, 18 y 19 Categorías: I / Cuadro 8-1)
- iii) Otros invariantes operatorios que no son consistentes con las asociadas al conocimiento científico (TEA: 12, 14, 16 a 19, 21, 24 a 28; Categorías: D, H, J, K y G / Cuadro 8-1)

2. Estos resultados se asemejan a los encontrados por Wittmann (1998, 2002), quien reportó que los estudiantes utilizan elementos de diferentes modelos cuando responden a preguntas de física relacionadas con ondas; los modelos sintetizados por este autor, son: el modelo newtoniano de partícula, el modelo de pulso-partícula y el modelo de onda. De igual forma, los resultados de este trabajo se corresponden con los estudios realizados por Bravo y Pesa (2002, 2004), quienes reportaron que los estudiantes ante situaciones semejantes desde la perspectiva de la ciencia, activan diferentes esquemas que presentan significaciones y representaciones con diferente grado de aproximación a los aceptados desde la física.

#### **8.4.2.2. Etapa 2. Entrevista colectiva**

La entrevista colectiva se llevó a cabo con cinco de los trece estudiantes. Estos estudiantes son los mismos con los que se realizó el ensayo piloto y con los cuales se llevó a cabo el ensayo. El objetivo de esta entrevista era convalidar, modificar, descartar o complementar los IO identificados con las situaciones propuestas en los cuestionarios. Para ello se propició una discusión entre los estudiantes acerca de las respuestas dadas por escrito en forma individual en la clase anterior, el debate estuvo centrado en las situaciones de los cuestionarios 1 y 3.

El contenido de la entrevista se analizó por cada situación o pregunta planteada; siguiendo en el debate las ideas de cada estudiante para concluir acerca de sus IO. De la transcripción de la entrevista se extraen como unidades de análisis (UA) aquellos fragmentos que ponen en evidencia los significados de los estudiantes.

##### **8.4.2.2.1. Análisis de episodios correspondientes al Cuestionario 1**

A continuación se presentan los episodios correspondientes al cuestionario 1, con comentarios e interpretaciones. Con el fin tener como referente los IO de estos estudiantes que fueron identificados en la etapa 1, se resumen en el Cuadro 8-5, los resultados de las respuestas escritas individuales dadas por ellos, según las categorías mostradas en el Cuadro 8-1.

**Cuadro 8-5.** Categorías de respuestas escritas a las situaciones del Cuestionario 1, por estudiante (N:5)

Estudiante	Situación				
	S1.Serpiente	S2.“ola humana”	S3. Olas	S4 Sonido	S5.Péndulo
E6L	B	D	E1	E1	A3
E2H	G	A3	G	E1	E1
E4J	--	--	E1	E1	E2
E1C	--	--	--	E1	E2
E5Y	A1	A2	E1	G	F

Ver en Cuadro 8-1 descripción de las categorías y los IO asociados.

Comenzaremos mostrando el primer episodio de la entrevista:

#### *Episodio 1*

E5Y: 1. *Yo primero pensé en lo que era una onda, yo establecí primero qué era para mi la onda*

2. *era una perturbación en el espacio y podía ser mecánica cuando tenía algún medio, utilizaba algún medio para propagarse o podía ser electromagnética cuando no empleaba necesariamente un medio para propagarse.*

3. *Con esa definición mía yo fui descartando.*

Come se ve la estudiante inicia su intervención describiendo sus acciones cognitivas (recordar, comparar) para abordar la tarea, además, expresa su significación acerca de la naturaleza de la onda.

Continúa exponiendo el resultado de haber ejecutado esas acciones con cada caso.

#### *Episodio 2*

E5Y: 4. *.....el péndulo como tal no es una onda .....*

5. *Si ells (la serpiente) se está moviendo ... se está desplazando, entonces hay desplazamiento de materia, lo que parece una onda es la figurita que tiene la serpiente.*

6. ....cada quien lo hace de manera independiente, yo me levanto por motivación propia, porque veo que me toca el turno pero no es porque yo esté perturbada para salir de mi posición de equilibrio por el entorno (referido a la ola humana).

7. la canción... es una onda longitudinal en el aire.

Entrev. OK, entonces tu recordaste lo que era una onda y si cumplía con alguna característica decías que era una onda y si no cumplía decías que no era

E5Y: 8. Si

Entrev. Y las características que recordaste eran...

E5Y: 9. que eran una perturbación en el espacio, que la propagación podía ser en el espacio o no. Que transportaba energía mas no materia.

Se ratifica con este episodio su proceso cognitivo y sus IO iniciales (Cuadro 8-5). A continuación, el profesor intenta pasar el dialogo a otros estudiantes

### *Episodio 3*

Entrev. ¿Todos están de acuerdo con ella?

E4J. 1. Por lo menos....., si ese movimiento ... se iba trasmitiendo, se iba siguiendo, yo decía que era una onda.

Entrev. Tu coincidiste con todas las respuestas de E5Y? En la serpiente no respondiste.

E4J. 2. En la serpiente, tenía dudas, se mueve de esa forma por el piso (bromea) pero no sabía... Silencio.

Este estudiante parece considerar como criterio que si algo se mueve a través de algo, es una onda; por ello ante el caso de la serpiente y el de la ola humana no respondió (Cuadro 8-5), y en la entrevista continúa dudando.

A continuación se invitó a participar al estudiante E1C ya que en las respuestas escritas había tres situaciones sin responder (Cuadro 8-5).

### *Episodio 4*

Entrev. Y E1C ¿Cuáles fueron los criterios que tomaste para decidir si era o no era una onda?

E1C. 1. Bueno, yo no pensé como E5Y en las propiedades de la onda, pero si tome todo el tiempo las ecuación de movimiento de la onda. Y trate de acoplarlas a cada uno, ....

2. yo conocía la ecuación del péndulo, vi que eran diferentes (comparando con la ec. de la onda).

Entrev. ¿Cuál es la diferencia que encontraste que te permitió decidir que era o no era una onda?

E1C: 3. (Escribe las ec. en la pizarra de onda y oscilación armónica) *En esta ec. (Onda) vemos por lo menos que tiene una derivada segunda del tiempo dos veces, si pero entonces, este resultado, por lo menos de esta expresión que esta aquí, es variada si en estos dos casos tanto la derivada de éste como la de éste tiene que ser constante. Cuando derive aquí me da algo pero cuando derive la ec. (de oscilación) me da esto (función seno).*

Entrev. ¿Que representa la derivada segunda de x respecto de t?

E1C: 4. Silencio..... *No recuerdo.*

Entrev. No comparaste ese elemento, entonces la comparación ¿cuál es?

E1C: 5. *Si uno hace un cambio de variable en la primera aproximación .....*

Entrev. Tu usaste esas dos ec. para decir si eran o no ondas.

E1C: 6. *Si a cada uno de los casos; los use para decidir.* Silencio

Como se puede apreciar este estudiante recuerda las expresiones analíticas que describen el movimiento de las ondas en función de variables significativas y el movimiento armónico, pero no como representaciones simbólicas enmarcadas en el campo conceptual referido a ondas mecánicas. En el caso del péndulo compara las expresiones matemáticas (oscilación armónica y movimiento de la onda) entre sí y nota por su forma que no son iguales, por lo que concluye que no se trata de una onda. Sin embargo, en los otros casos, donde no conoce la expresión matemática asociada al caso, no logra responder dado que la ecuación de onda que recordó para él no constituye una representación del concepto, sino una expresión matemática asociada a un término.

A continuación se muestra como en la discusión surge el concepto de *medio*.

### *Episodio 5*

*Alguien dice: las ondas salen de la perturbación*

Silencio.

E6L. 1. *¿De dónde salen? No será mejor preguntar ¿quién las crea?*

E5Y. 10. *una perturbación en el espacio.*

E6L. 2. *¿En el espacio?*

E5Y. 11. *Si, en el espacio.*

E6L. 3. *Depende, pues las ondas mecánicas son perturbaciones que necesitan un medio, como el agua cuando dejas caer una piedra; la cuerda; pero en la luz no.*

E5Y. 12. *Pero es que puede haber un medio material y un medio como el vacío.*

E6L. 4. *Pero ¿el vacío es un medio?*

E5Y. 13. *Si*

E6L. 5. *¿Cómo?*

E5Y. 14. *Es algo a través de lo cual la luz se desplaza, tiene que ser un medio.*

E6L. 6. *No, entonces algo anda mal pues a mí me han dicho que la luz no requiere de un medio para propagarse. Ella pasa en el vacío.*

E5Y. 15. *Entonces ¿qué es el vacío? Es un medio*

*Alguien dice: Entonces ¿dónde se mueve la luz?*

E6L. 7. *Claro que (la luz) se puede mover en el agua, en el aire, pero también en el vacío*

E5Y. 16. *¿Y cómo se llama por donde se mueve? ... un medio, material o no material*

E5Y. 17. *El espacio.*

Entrev. *¿El medio es un medio material?*

E5Y 18. *El espacio es un medio, medio como tal es ....., como se llama .... Por ej. medio instruccional es lo que utilizas para dar la clase.*

*Risas. Ya, ya. Que tiene que ver*

Entrev. *En el caso de la luz ¿cuál sería el medio?*

E6L. 8. *En el caso de las ondas mecánicas necesitan el medio material para propagarse, como el aire. En cambio las ondas que no son materiales como las electromagnéticas que no son mecánicas, no necesitan el medio*

E6L. 9. *pero ¿qué es el medio?*

E5Y. 19. *No te estoy diciendo. Es el instrumento para desplazarse, para moverse.*

E6L. 10. *¿por qué entonces la velocidad de la luz es casi igual en el aire que en el vacío?.*

E1C. 7. *Yo lo veo así. Ese medio material del que habla es el espacio que contiene materia, el medio .... es el espacio que no contiene.*

Entrev. *Entonces la luz no se propaga en el vacío.*

Varios. Si

Entrev. ¿En el vacío hay materia?

Varios: no

E1C. 8. *yo veo que la luz, ella misma es el espacio.*

E5Y. 20. .... *Básicamente, las ondas que no utilizan un medio material se apoyan, ..en campos electromagnéticos. Ahora, ¿cómo establecer que las ondas los utilizan? es lo que no se como...*

Entrev. ¿Será que el medio pueden ser campos, no solo materia?

E5Y. 21. *Eso es lo que estaba pensando.*

E6L. 11. *Pero es que la luz tiene su propio medio, la luz es un campo en si, o sea un campo electromagnético*

E5Y 22. *Pero la luz es una onda*

E6L. 12. *Electromagnética*

E5Y. 23. *Onda electromagnética, la luz es una onda que usa un campo electromagnético por tanto es una onda electromagnética*

E6L. 13. *Usa, no; usa, no. La luz es un campo electromagnético (afirma con énfasis)*

E5Y. 24. *Estamos hablando, de que la luz como tal según la teoría electromagnética, es una onda*

E6L. 14. *Aja*

E5Y. 25. *... y ella se desplaza por los campos electromagnéticos.*

E6L. 15. *Por eso es que la luz tiene en sí misma el medio*

Entre. Pero la onda es un campo

E6L 16. *Si es un campo*

Entrev. Entonces ¿campo y onda es lo mismo?

E6L. 17. *Si, No*

Entrev. Bueno parece que sigue quedando una pregunta en el aire.

E5Y 26. *La pregunta es ¿qué es el medio? ¿Si la onda es lo mismo que el campo?*

El episodio 5 muestra una discusión acerca del significado del concepto *medio*, aspecto que no surgió en las respuestas escritas a las situaciones del cuestionario (Etapa 1). Los estudiantes conocen que *las ondas mecánicas requieren de un medio material*

*para propagarse, y que las ondas electromagnéticas se propagan en el vacío* (E6L UA:3 y 8; E5Y UA:1; todo el grupo). Sin embargo, la estudiante E5Y (UA:12) asocia el concepto de *medio tanto a lo material como al vacío*. Esto parece estar apoyado por los otros compañeros excepto por E6L quien continúa afirmando que *el vacío no es un medio y las ondas electromagnéticas no requieren de un medio para propagarse pues lo hacen en el vacío* (E6L, UA:8) Con las intervenciones de E5Y (UA:20) y de E1C (UA:8) se introduce en el debate la noción de *campo electromagnético*, con lo cual llegan a un acuerdo: *la luz es una onda, es un campo electromagnético y viaja en el propio campo electromagnético el cual no es un ente material*, sin embargo, no hay convicción en ellos al respecto, quedando como pregunta a indagar.

Continúa la discusión acerca de las respuestas a las situaciones del Cuestionario 1:

#### *Episodio 6*

E6L. 18. (En el péndulo oscilando) *no ocurren* (se observan) *las características de una onda*

19. *Este movimiento* (el de la serpiente) *lo que único que representa es una función, no una onda; se puede representar una onda como se mueve la serpiente pero eso no es una onda. Yo puedo fotografiar la serpiente y la grafica de una función de una onda y parecieran iguales al comparar, solo eso una representación.*

20. *La ola en el estadio, esa fue la que mas me costó, pensé en el caso de una persona que esta sentado allá, la ola pasa pero él no se para. La persona está en el medio de la ola, el tenía que moverse.*

E5Y. 27. *Vamos a suponer que nosotros queremos hacer una ola, yo no necesito que nadie interaccione conmigo. La única forma en que haya interacción es que estemos agarrados por los brazos o algo así.*

E6L. 21. *Yo no lo vi desde ese punto de vista. Pensé en la gente como masas que se mueven y movían a la otra persona, y por eso pensé que podría ser una onda.*

En este Episodio 6, el estudiante E6L analiza sus respuestas individuales expresando cómo llega a ellas, con lo cual confirma sus IO iniciales (Cuadro 8-5). En el

caso de la ola humana, E6L evidencia tener dudas, entiende que las personas no están *ligadas*, tienen voluntad, sin embargo, concibe la existencia de una interacción entre personas, que podría calificarse como psicológica, que impulsa a todos a moverse uno después del otro (UA:20 y UA:21). Este análogo lo llevó a considerar el fenómeno como una onda. Lo cual se ratifica con la observación que le hace E5Y (UA: 27).

La discusión continúa en relación al caso de las olas en el agua (Episodio 7), el estudiante E6L considera que sí son ondas, sin embargo, de su argumentación aflora la idea de que hay transporte de materia UA: 23-24-25. Esto es rebatido por los estudiantes E5Y (UA:28-30-31) y E4J (UA:3), sin embargo, la argumentación dada por E6L lleva a nueva discrepancia de significados entre onda viajera y onda estacionaria.

### *Episodio 7*

E6L. 22. *Las ondas en el lago .... son ondas viajeras con una velocidad definida ... Si coloco unas peloticas de anime allí veo que estas se mueven*

Entrev. Y como se mueven esas peloticas de anime?

E6L. 23. *Bueno, si la onda es viajera, no estática se debería de mover hacia adelante, hacia arriba y hacia abajo.*

Entrev. Hacia adelante, hacia arriba y hacia abajo, o sea, ¿que llega a la orilla?

E5Y. 28. *Pero ..... las ondas transportan energía, pero no materia.*

E6L. 24. *Si, puede llegar la onda, pero si coloco la masita si puede transportarla*

E5Y. 29. *Pero porque esta utilizando la energía de la onda pero no porque la onda misma la diera.*

E6L. 25. *Si yo lo veo desde la orilla yo veo que se acerca, puede acercarse mucho o regresar.*

E5Y. 30. *Yo siempre lo veo que se queda en el mismo sitio.*

E6L. 26. *Las olas llegan a la orilla*

Entrev. Bien, tu dices las olas llegan a la orilla, ahora las partículas de agua o la pelotica de anime ¿como se va a mover?

E4J. 3. *Cuando estamos en una ola, al pasar la ola nosotros subimos y bajamos otra vez.*

E5Y. 31. *Sigue la onda pero la partícula se queda.*

E6L. 27. *Pero eso depende, es lo mismo que si la onda es estática.*

## *Episodio 8*

Entrev. Aja tu hablas de una onda estática y de onda.....

E6L. 28. *Estacionaria, perdón.*

Entrev. ¿cómo es eso de onda estática y estacionaria?.

E6L. 29. *No, eso es lo mismo; (es) estacionaria y viajera.*

Entrev. ¿Cómo es eso de viajera y estacionaria? ¿O sea que hay ondas que no viajan y otras que si viajan?.

E5Y. 32. *Pero una onda ¿no se supone que es una propagación?, si es una onda, tiene que moverse.*

E6L. 30. *Claro que sí existe la onda estacionaria. Si, no te acuerdas que vimos la onda estacionaria.*

Entrev. Pero ¿que es una onda estacionaria?

E6L. 31. *Una onda que se queda todo el tiempo en un lugar*

Entrev. Y ¿es producto de qué?

E6L. 32. *Como qué de qué, de una perturbación.*

E4J. 4. *Yo lo que creo es que hay ondas estacionarias que se propagan.....*

E6L. 33. *Pero es que pueden tener las dos características de las ondas, las ondas viajeras....., ambas se van a propagar. En una, la estacionaria va a ser estática en el tiempo, no va a variar en su posición.*

E5Y. 33. *Entonces no se mueve, no se propaga.*

E6L. 34. *Pero si se va a propagar energía y momento*

E5Y. 34. *Entonces no se mueve*

E6L. 35. *Pero ella varia*

Risas del grupo.

E6L. 36. *Ya va, déjenme pensar, por ej. si yo tengo un generador de ondas ..... yo voy a ver si esta oscilación permanece constaste en el tiempo, es la misma.*

Entrev. ¿De que estamos hablando de oscilación o de ondas?

E6L. 37. *De una oscilación, ok*

E6L. 38. *Oscilación es oscilación*

Entre. Oscilación es lo del péndulo

E6L. 39. *Parece que yo soy el único aquí.*

Risas del grupo.

E6L. 40. *Bien, déjeme hacer un dibujo. Esto es un generador de ondas y aquí hay una pared y una cuerda (que se conecta entre el generador y la pared). Esto (el generador) esta oscilando a..... 20 kHz, ok, (dibuja la onda estacionaria del primer modo de vibración). Eso es una onda estacionaria.*

Entrev. ¿De donde sale eso? ¿Y que hay ahí? (refiriendo el generador)

E6L. 41. *Algo que vibra*

Entrev. Bien, Si esa cuerda te la llevas hasta el infinito ¿qué va a pasar?

E6L. 42. *Ok, ¿qué va a pasar? .....Tiene que vibrar (dice con énfasis).*

Entrev. El generador sigue vibrando, ¿y la cuerda?

E6L. 43. *No, la cuerda.....*

En la discusión (episodio 8) surgió un concepto-en-acción nuevo, *onda estacionaria*. Por ello se estimuló el dialogo sobre el tema para conocer su significación. Se presenta un dilema entre la noción de onda viajera y de onda estacionaria (E5Y UA:32), ante lo cual E6L argumenta apelando al recuerdo de clases anteriores donde se trataron las ondas estacionarias. Continúa el debate, hasta que E6L plantea un ejemplo, que corresponde a vibraciones en cuerdas finitas (modos normales), sin embargo, no logra argumentar la diferencia entre onda viajera y estacionaria. Quedando sin respuesta esta cuestión.

La discusión sobre las situaciones del Cuestionario 1 permitieron ratificar los IO identificados con las respuestas escritas (Cuadro 8-5) y comprender en algunos casos los procesos que llevaron a ciertas respuestas (E6L, con la “ola en el stadium”) o a no responder (E1C o E4J). También surgieron nuevos TEA en relación con el CEA de *medio*,

29. El medio puede ser material o vacío para la propagación de ondas electromagnéticas (todos los estudiantes, excepto E6L)

30. Las ondas electromagnéticas se propagan a través de campos electromagnéticos (E6L)

El estudiante E6L condiciona su respuesta inicial a la situación de las olas en la superficie del agua al tipo de onda que se produzca, viajera o estacionaria, con lo cual la categorización deja de ser E1, pudiendo identificarse un nuevo TEA:

31. En el caso de ondas estacionarias no se produce transporte de materia, mientras que si son ondas viajeras si ocurre éste fenómeno (E6L).

#### 8.4.2.2.2. Análisis de episodios correspondientes al Cuestionario 3, Situación 1

En primer lugar presentamos una síntesis de las categorías de respuesta escrita de los cinco estudiantes (Cuadro 8-6). *El tiempo que tarda una onda sonora en recorrer una distancia fija (la velocidad de la onda) no se ve afectada si varía su volumen (amplitud)* es la respuesta dada por la mayoría (4 de 5) (Situación B), en cambio todos dicen que *si varía al cambiar la frecuencia* (situación C). Ello se expresó en los TEA 21 y 24.

21. La velocidad de la onda equivale (o depende) de la frecuencia.

24. La intensidad es independiente de la frecuencia, en consecuencia por el TEA (21) no influye en la velocidad de la onda.

**Cuadro 8-6.** Categorías de respuestas escritas dadas a la Situación 1 del Cuestionario 3, por estudiante (N:5).

Situación Estudiante	A. Ondas sonoras de igual frecuencia y volumen	B. Ondas sonoras de igual frecuencia y distinto volumen	C. Ondas sonoras de igual volumen y diferente frecuencia
E6L	Igual, ---	Igual, J2	Diferente, J2
E2H	Igual, ---	Igual, E2	Diferente, J3
E4J	Igual, J1	Igual, E1	Diferente, J3
E1C	Igual, ---	Diferente, K	Diferente, K
E5Y	Igual, J3	Igual, J2	Diferente, J3

Ver en Cuadro 8-1 descripción de las categorías y los IO asociados.

A continuación analizaremos los episodios correspondientes a la entrevista colectiva relacionados con esta situación.

En cuanto a la pregunta A, un estudiante leyó su respuesta a lo que todos confirmaron estar de acuerdo, por ello decidieron pasar a la pregunta B, cuya discusión se inicia con el episodio 9:

#### *Episodio 9*

E4J. 1. *No, la frecuencia cambia la velocidad de propagación, no tiene que ver con la amplitud. No cambiara (el tiempo)*

E1C. 1. *Una onda tiene mas fuerza que la otra, entonces como esos sonidos son superposiciones, cuando la onda de Miguel se encuentre con la de Laura, la de Miguel va absorber a la de Laura y solo va a llegar la de Miguel.*

En estas dos intervenciones se observan planteamientos que incluyen IO diferentes. En el caso de E4J establece dependencia entre frecuencia y velocidad, e independencia entre velocidad y amplitud, ésta última equivale a volumen. Tres de los estudiantes no discute la idea de E4J ni coloca otra diferente, con lo cual se puede inferir que están de acuerdo, confirmando sus respuestas escritas al inicio (Cuadro 8-6 y 10-1). Mientras que E1C basa su respuesta en un razonamiento centrado en el CEA de superposición, con un significado que está asociado a nociones de partículas: *TEA 18: las ondas tienen fuerza, TEA 28: la onda de mas volumen (fuerza) absorbe a la de menos volumen (fuerza).*

Se siguió el debate centrado en la idea de *absorción de una onda por otra* (episodio 10). Se observa que E4J (UA:2) coloca el significado científico de superposición de ondas, la cual parece ser aceptada por otro estudiante que no pudo ser identificado en la grabación. Sin embargo, E1C (UA:2) insistió en su idea; pero nuevamente, E4J (UA:3) coloca la noción científica de superposición, E6L no esta de acuerdo con él y E5Y piensa que se contradice la conservación de la energía. Al final, E1C duda de su respuesta inicial pero no presenta otra diferente, y E4J no logra persuadir al resto quedando cada uno con sus propios significados. En síntesis, del grupo se ratifican dos TEA (21 y 28) y surge uno nuevo:

TEA 32 (nuevo) *La superposición de las ondas en algún lugar del espacio puede ser destructiva, pero luego las ondas siguen su camino.*

### *Episodio 10*

Entrev. Entonces, ¿una onda absorbe a la otra?

E4J. 2. *Si salen al mismo tiempo, y tienen la misma frecuencia, las amplitudes se van a superponer.*

Entrev. Y después?

Alguien dice: *Siguen su camino.*

Entrev. Pero para ti E1C no, tu dices que la de más volumen absorbe a la más débil.

E1C. 2. *Yo me imagino a los dos gritando. Ninguno oye al otro de la misma forma. Hay una superposición de las ondas en alguna parte, pero si se oyen al mismo tiempo.*

*O sea, si tienen la misma frecuencia tienen que llegar igual. Pero entonces, suponga que Ud. me llama desde una distancia de 100 m con una voz bastante moderada y yo pego un grito, entonces que es lo que se oye, ¿el grito o la voz moderada? ¿quién oye el grito? La otra persona.*

Entrev. Pero según tu respuesta no oyes nada (dirigida a E1C)

E1C. 3. *No es que no oigo nada*

Entrev. Pero según tu respuesta esta onda absorbe a la otra en algún lugar ¿que significa absorber para ti?

E1C. 4. *Tienen igual frecuencia, pero diferente amplitud.... Se ríe.... No responde.*

Entrev. Bueno queda entonces esa pregunta pendiente. Si ellas van a viajar se encuentran y siguen como si nada o si ellas van a viajar y ocurre algo que hace que una desaparezca.

E4J. 3. *Pero puede ser que en el lugar de encuentro ocurra una interferencia destructiva y no se oye nada, pero luego siguen*

E6L. 1. *No estoy de acuerdo.*

Entrev. Pero lo que plantea E4J es que en algún lugar pudiera haber una interferencia destructiva y se desaparece.

E5Y. 1. *Si pero eso no cumple la conservación de la energía.*

Entrev. Entonces la idea inicial de E1C.

E1C. 5. *Bueno para mi ya no es.*

Entrev. E1C ahora duda, entonces tienes que explicar por qué ya no estas convencido.

No hay mas respuestas sobre le tema.

A continuación analizaremos el episodio 11 correspondiente al texto donde se discute la pregunta C (Cuestionario 3, situación 1)

### *Episodio 11*

E4J. 4. *Miguel primero que Laura*

Entrev. ¿Por qué?

E4J. 5. *Porque Laura....*

E5Y. 2. *La velocidad de propagación es proporcional a la frecuencia de la misma por eso, Miguel escuchará primero porque su onda tardará mas en llegar a donde Laura.*

Entrev. ¿La velocidad de propagación depende de la frecuencia?

Todos: *Si. Ya lo dijimos*

Entrev. Entonces todos están de acuerdo con que la velocidad de propagación depende de la frecuencia

Todos: *Si*

En este caso no se presentó dilema todos están de acuerdo en que la velocidad de propagación de la onda es proporcional a la frecuencia, con lo cual se ratifica el TEA 21 y culmina el debate.

#### 8.4.2.2.3. Análisis de episodios correspondientes al Cuestionario 3, Situación 2

La situación 2 de este tercer cuestionario está dirigida al mismo tópico que la situación 1 solo que ahora el problema plantea una tarea inversa a la anterior, aquí se quiere variar el tiempo que tarda un pulso en recorrer una distancia fija en una cuerda tensa y se pide seleccionar un procedimiento o más, entre varias opciones (Cuestionario 3, situación 2). Los resultados en las pruebas escritas para estos cinco estudiantes se resumen en el Cuadro 8-7.

**Cuadro 8-7.** Categorías de las respuestas escritas dadas a la Situación 2 del Cuestionario 3, por estudiante (N:5).

Estudiante	Situación						
	a	b	c	d	e	f	g
E6L	J3	NC	E	E	NC	NC	NC
E2H	J3	NC	NC	NC	NC	NC	NC
E4J	J3	NC	NC	NC	NC	NC	NC
E1C	J3	NC	NC	NC	NC	NC	NC
E5Y	J3	NC	NC	E	I	NC	NC

Ver en Cuadro 8-1 descripción de las categorías y los IO asociados. NC: no lo selecciona.

A continuación presentamos el Episodio 12, el mismo incluye todo el discurso relacionado con las respuestas a la situación.

#### *Episodio 12*

Entrev. Primera opción. (cambia el tiempo en subir y bajar la mano)

E6L. 1. *Yo digo, que si vario la frecuencia con que muevo la mano tiene que variar el tiempo de llegada.*

Entre. O sea que variar la frecuencia afecta la velocidad del pulso?

E6L. 2. *Si*

Entrev. De acuerdo todos?

Todos: Si

Entrev. La segunda opción, (cambia la amplitud del mov. de la mano)

E4J. 1. *Yo pensé que el punto va a subir mas alto pero no se.*

*Hablan varios*

Entrev. ¿Pero la amplitud afecta el tiempo que tarda en llegar a la pared?

Varios: No

E5Y. 1. *Yo puse que no, pero ahora. Si la amplitud es muy alta eso va a afectar el ancho del pulso y entonces al ser mas ancho debería llegar mas rápido, ya que la distancia que me separa ahora es mayor. (esto lo basa en la idea de que la velocidad no cambia por que la frecuencia es la misma)*

Entrev. Hace un dibujo del pulso, y señala la amplitud y el ancho del pulso. ¿Esto es así?

E5Y. 2. *Si. Pero si yo levanto la mano mucho, prácticamente, que levanto todo.*

E4J. 2. *Lo que me puso a dudar fue que ... Yo me imagine como con el sonido, la amplitud de una onda sonora tiene que ver con el sonido, con el volumen, que debe haber mucho volumen y poca frecuencia para que llegue.*

Entrev. Cambiar la Amplitud, cambia el tiempo de llegar al otro lado.

E4J. 4. *Yo creo que si cambiamos la A, debe cambiar el ancho del pulso y por eso debe cambiar el tiempo.*

No hay mas respuestas y comentarios.

Entrev. Bien ¿quién selecciono la opción c? Usa una cuerda de diferente densidad.

E6L. 3. *Yo seleccione c y d. (fue el único, Cuadro 8-6) Yo recordé que la velocidad de la onda tiene que ver con la densidad de la cuerda y con la tensión, por la relación entre velocidad, densidad y tensión (no la representa simbólicamente).*

Entrev. Entonces según esto la velocidad de la onda depende de propiedades de la cuerda según esta relación. Eso es lo que plantea E6L, se acordó de esa relación por ello las selecciono.

Entrev. ¿están de acuerdo con lo planteado por E6L?

Todos: Si

No hay mas respuestas y comentarios.

Entrev. Bien. La opción e y f, pone mas fuerza o menos fuerza ¿qué es eso?

Hay un tiempo de silencio.

E6L. 4. *Me parece ambiguo*

E4J. 5. *Sería que la aprieto mas.*

*Risas*

Entrev. Aja, pero si aprieto mas la cuerda, ¿cambiare el tiempo de llegada del pulso?

E1C. 1. *Será ponerle mas energía*

Entrev. ¿cómo?

E6L. 5. *Puedo variar rápidamente su momento*

Entrev. ¿cómo?

Un estudiante no identificado: *Subir y bajar mas rápido*

Entrev. Parece que el termino mas fuerza y menos fuerza se presta a múltiples interpretaciones.

Todos: *Si*

Silencio.

Se observa que los estudiantes ratifican sus IO iniciales, y confirman la relación entre la frecuencia de la fuente y la velocidad de propagación de la onda. También se observa que la idea de *fuerza para variar la velocidad de la onda*, si bien fue seleccionada solo por E5Y hay tres estudiantes que intentan justificar este procedimiento por lo cual se infiere que están de acuerdo con ello.

Un solo estudiante (E6L) hace referencia a la dependencia de la velocidad de la onda con las propiedades del medio y lo justifica como un conocimiento aprendido con anterioridad y recordado. Sin embargo, este estudiante también relaciona la frecuencia de la fuente y la velocidad de propagación de la onda (opción a).

### **8.4.2.3. Etapa 3. Dificultades identificadas en los estudiantes en relación con los tópicos de ondas**

La Fase I del trabajo de laboratorio según el plan de acción (Fig. 10-1) culmina con la formulación de preguntas relevantes para el diseño experimental que se está ejecutando. Para ello se indicó que tomaran en cuenta los aspectos que resultaron consensuados y aquellos que generaron controversias en la sesión de discusión.

Así, los estudiantes establecieron por consenso las siguientes preguntas:

- ¿Qué pasa con la velocidad de propagación de la onda cuando aumentamos, por ejemplo duplicamos, la frecuencia de la fuente?

- En una onda longitudinal sobre un resorte ¿se relaciona la velocidad de propagación 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 ¿cómo?
- ¿Qué se puede hacer para cambiar la velocidad de la onda?
- Al entrar una onda en un medio mas denso que el inicial ¿en qué se afecta?
- ¿Cómo podemos determinar si los medios son no dispersivos?
- ¿Varía la velocidad de propagación de la onda cuando cambiamos la amplitud del pulso?
- ¿La onda no transporta materia?

Las preguntas se organizaron y precisaron en función de los materiales disponibles (resortes de 2 m longitud para ondas).

En atención a los IO identificados en la dos etapas anteriores y las preguntas generadas por los estudiantes al concluir la Fase I, se pueden establecer algunas dificultades en relación a la naturaleza de las ondas mecánicas, su propagación y la dependencia de la velocidad de las ondas y otras variables de interés en los fenómenos ondulatorios, como son:

- i) El rol del medio de propagación como determinante de la velocidad de propagación;
- ii) La independencia entre las características de la vibración de la fuente y la velocidad de la onda;
- iii) La noción de onda como evento y no como objeto material que interactúa con el medio.

Por otra parte, los resultados del estudio piloto (Capítulo 7) permitieron identificar algunas dificultades en los estudiantes en relación con la ejecución de las tareas propias del trabajo experimental, como son:

- i) Considerar las tareas propias del laboratorio como complejas y no como procedimientos algorítmicos.
- ii) En el diseño experimental requieren precisión en conceptos como: variables dependiente, independiente e intervinientes, y control;

iii) En la medición requieren mayor dominio de los conceptos de: error, precisión, propagación de errores, confiabilidad de las medidas;

iv) Para la ejecución del procesamiento y transformación de los datos requieren de conceptualizaciones referidas a modelaje y la interrelación entre modelo y resultados.

Estas dificultades tanto del dominio teórico como del dominio metodológico fueron atendidas de manera intencional y explícita en la enseñanza, planteándolos como objetivos de aprendizaje. Además, guiaron las intervenciones didácticas del docente en las Fases II a V del TL. De igual forma orientaron a los estudiantes, ya que eran las metas explícitas a alcanzar.

## **8.5 RESULTADOS DEL MOMENTO DE INVESTIGACIÓN II: DESARROLLO DE LA MEDIACIÓN DIDÁCTICA**

Continuando la ejecución del trabajo de laboratorio se tiene que dentro del marco de la teoría de Campos Conceptuales, la función del docente es guiar y orientar a los estudiantes en el desarrollo del repertorio de esquemas y representaciones necesarias para la resolución del problema planteado (Vergnaud 1996, 1998).

El diagnóstico de la fase I y el estudio piloto (Capítulo 7) permitieron precisar algunas dificultades de comprensión conceptual (teórico-metodológico) de los estudiantes, a partir de lo cual se establecieron las siguientes metas de aprendizaje:

1. *Dominio teórico:* En relación con los tópicos relacionados con fenómenos ondulatorios (naturaleza de las ondas mecánicas, su propagación y la dependencia de la velocidad de las ondas y otras variables de interés):

i) Rol del medio de propagación como determinante de la velocidad de propagación.

ii) Independencia entre las características de la vibración de la fuente y la velocidad de la onda.

iii) Noción de onda como evento y no como objeto material que interactúa con el medio.

2. *Dominio metodológico:* En relación con las tareas propias del trabajo experimental:

- i) Diseño experimental. Precisión en conceptos como: variables dependiente, independiente 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.
- ii) Medición. Incremento en el dominio de los conceptos de: error, incerteza, precisión, confiabilidad de las medidas.
- iii) Procesamiento, transformación, análisis e interpretación de los datos. Uso de las preguntas claves 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).
- iv) 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.
- v) Comunicación. Uso de múltiples representaciones (icónica, lingüística, gráfica y simbólica matemática) para expresar el trabajo desarrollado y los resultados obtenidos

3. *Dominio epistemológico*: En relación con las tareas propias del trabajo experimental que probablemente inciden en el desarrollo de una visión acerca de la actividad científica cónsona con el permanente interrelación entre los dominios teórico y metodológico se plantearon los aprendizajes específicos siguientes:

- i) 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.
- ii) Producir apropiadas explicaciones o argumentaciones.
- iii) Reconocer las estrategias de indagación más convenientes para el estudio de la propagación de pulsos en cuerdas.
- iv) Reconocer qué mediciones deben repetirse y cuáles pueden ser seleccionadas para su análisis.
- v) Reconocer los datos que no son confiables para generar conclusiones.

- vi) Analizar la clase de datos que se producen y transformarlos en atención a preguntas planteadas.
- vii) Seleccionar los procedimientos mas apropiados para el análisis de los datos en atención al modelo asumido.
- viii) Identificar los elementos que pueden hacer que una conclusión sea considerada confiable.
- ix) Valorar la importancia de la contrastación de los resultados entre pares o con otros grupos de trabajo.
- x) Desarrollar capacidades de síntesis e integración para la comunicación de resultados por escrito a través de diarios, informes y reflexiones (portafolio)

En atención a lo anterior, y considerando el modelo MATLaF para la comprensión del proceso cognitivo desarrollado durante un TL, se continuó el ensayo con la ejecución de las cuatro fases siguientes del plan general (Fig. 8-1). Durante el abordaje de estas tareas se orientó a los estudiantes en su planificación y ejecución.

En la fase II se plantearon dos actividades, la primera fue un tutorial<sup>5</sup> individual en donde cada estudiante interactuaba con una simulación en el computador mediante un guión elaborado para abordar algunas dificultades identificadas. La segunda actividad de esta fase fue el trabajo experimental propiamente dicho. En las fases restantes se guió a los estudiantes para resolver las tareas de organización, procesamiento y análisis de los datos recolectados, suministrando información, modelando algunas acciones y orientando a los estudiantes hacia el manejo de diversas formas de representación de los resultados.

El grupo total de estudiantes era pequeño (N:5) por lo que formaron un solo equipo de trabajo; sin embargo, en algunos momentos ejecutaban actividades en forma individual o por pares, y en otros, integraban y discutían el trabajo en colectivo. En los cuatro apartados siguientes, se describe el proceso de las actividades desarrolladas y la evolución conceptual de los estudiantes, sobre la base de los registros tomados por el docente-investigador.

---

<sup>5</sup> En el sentido dado por Wittmann (1998) en su disertación doctoral.

### 8.5.1 Fase II - A. Tutoriales sobre Ondas Mecánicas.

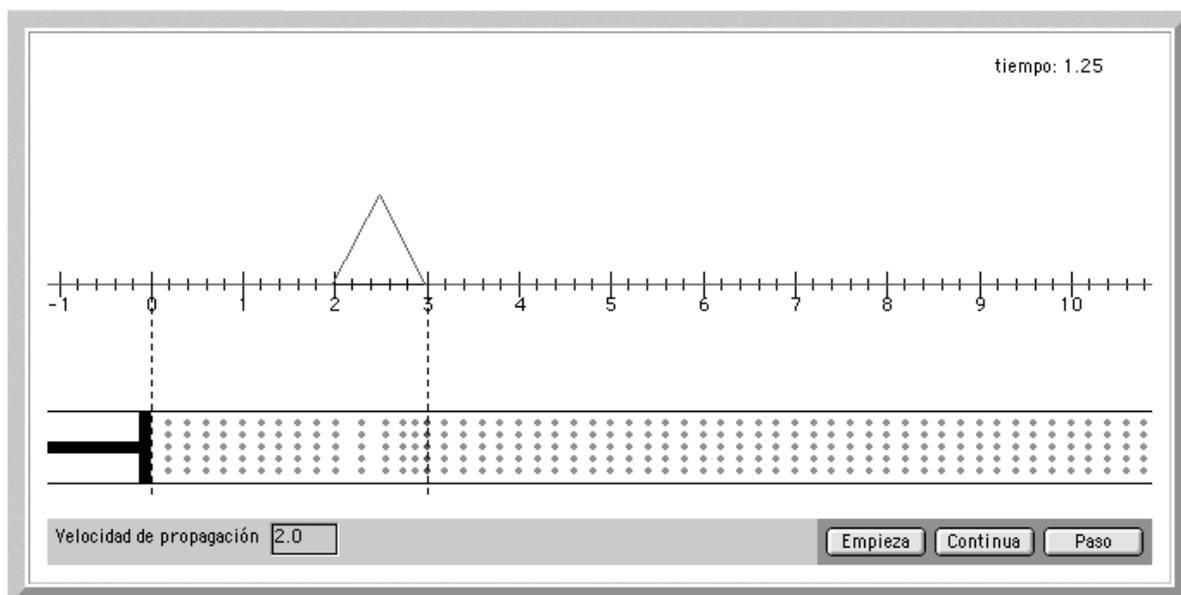
A partir de los IO identificados en la fase I, se realizó un tutorial individual, donde cada estudiante interactuaba con una Simulación en el computador (Franco, 2003). Para lo cual se diseñó un guión de trabajo dirigido a abordar algunas de las dificultades de comprensión en el dominio teórico (Anexo 8-B). Este trabajo se llevó a cabo en una sala de computación con la presencia del docente y en el contexto del horario de clase previsto para el curso.

Las situaciones a resolver en cada simulación fueron:

- A) Propagación de un pulso en una barra dirigido a analizar el comportamiento de las partículas del medio y el del pulso. El simulador permite variar la velocidad de propagación del pulso y presenta en simultáneo dos formas de representar el fenómeno: icónica (medio como conjunto de partículas distribuidas de forma homogénea) y simbólica (función triangular del pulso en el tiempo) (Fig. 8-2).

**Figura 8-2.** Pantalla de la Simulación A.

([www.sc.edu/es/sbwch/fisica/ondas/descripcion/descripcion.html](http://www.sc.edu/es/sbwch/fisica/ondas/descripcion/descripcion.html))

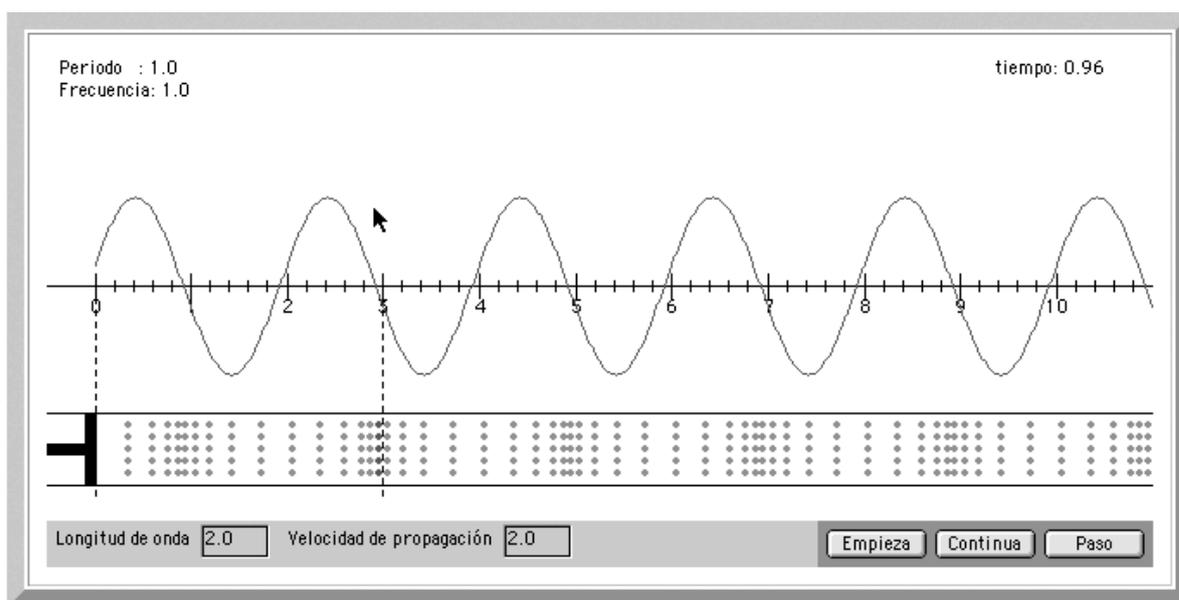


- B) Propagación de ondas armónicas longitudinales producidas por una fuente vibratoria con movimiento armónico simple (martillo) y propagadas en una barra. El énfasis del guión está en el análisis del comportamiento oscilatorio de las partículas del medio y el de la onda. El simulador permite variar la velocidad de propagación del

pulso y la longitud de onda, calculando de forma automática la frecuencia, el período y el tiempo transcurrido. En la simulación se utilizan dos tipos de representaciones simultáneas: la forma icónica (modelo de medio como conjunto de partículas distribuidas de forma homogénea) y la simbólica (gráfica de la función de onda en el tiempo) (Fig.8-3).

**Figura 8-3.** Pantalla de la simulación B.

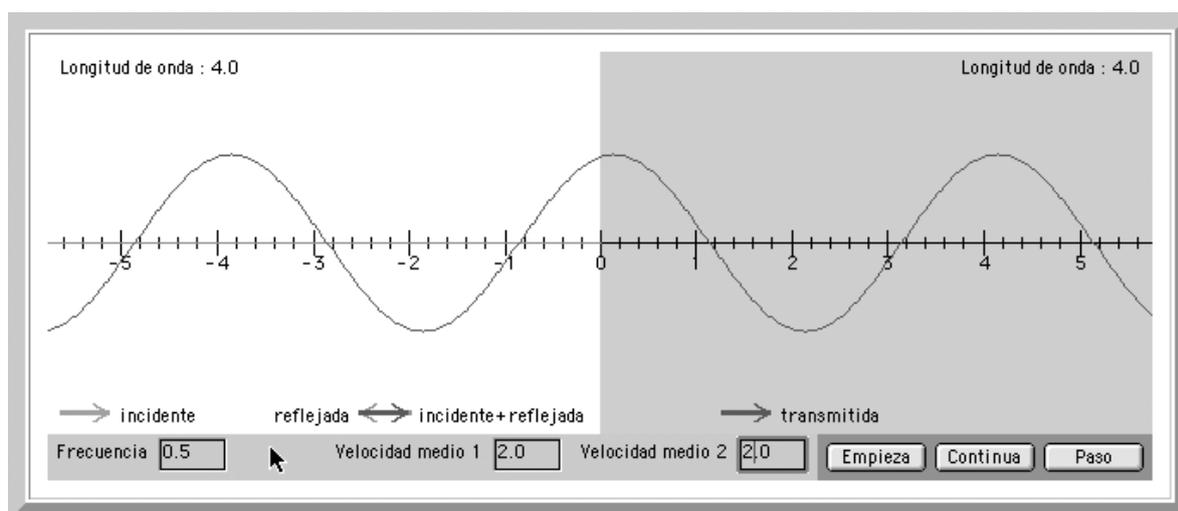
([www.sc.edu.es/sbwch/fisica/ondas/ondaArmónica/ondasArmónicas.html](http://www.sc.edu.es/sbwch/fisica/ondas/ondaArmónica/ondasArmónicas.html))



C) Propagación de ondas armónicas producidas por una fuente vibratoria con movimiento armónico simple y propagadas en una cuerda. En la simulación es factible variar la frecuencia de vibración de la fuente, la velocidad de propagación en el medio<sup>3</sup>, y observar el efecto de cada una sobre la longitud de onda. El guión está dirigido a la relación entre la frecuencia y la longitud de la onda y, la velocidad de propagación y la longitud de la onda, así como a la diferencia entre el comportamiento de un elemento  $dx$  de la cuerda y el de la onda. Se representa el evento con un dibujo a escala de la onda en la cuerda (Fig. 8-4).

<sup>3</sup> La simulación tiene zonas que representaban a dos medios, pero en el guión se les pedía que mantuvieron el mismo valor de la velocidad de propagación en ambos medios

**Figura 8-4.** Pantalla de la simulación C ([www.sc.edu/es/sbwch/fisica/ondas/refraccion/refraccion.html](http://www.sc.edu/es/sbwch/fisica/ondas/refraccion/refraccion.html))



Al finalizar el trabajo con cada simulación los estudiantes debían redactar unas conclusiones acerca de la actividad ejecutada. Estas respuestas escritas son tomadas como una muestra de las conceptualizaciones construidas acerca del tópico tratado después de abordar las tareas, lo que se constituye en indicadores del desarrollo cognitivo producto de las acciones de los sujetos. Las respuestas de los cinco estudiantes se exponen en los cuadros 8-8, 8-10 y 8-12; éstas respuestas han sido categorizadas tomando la clasificación establecida para el análisis de resultados del momento I del ensayo (Cuadro 8-1). Y las interpretaciones dadas a las conclusiones de cada estudiante en las simulaciones, se sintetizan en los cuadros 8-9, 8-11 y 8-13.

**Cuadro 8-8.** Conclusiones categorizadas de los 5 estudiantes, al finalizar el tutorial con la Simulación A.

Estudiante	Respuesta	Categoría
<b>E2H</b>	El pulso es longitudinal, provocado por la fuente que produce la perturbación, en donde las partículas se mueven hacia la derecha y regresan al equilibrio, y el pulso continua su movimiento hacia la derecha.	Categoría A
<b>E6L</b>	Una onda no propaga materia, pero <i>si energía</i> , la materia vibra alrededor de su posición de equilibrio. La onda mecánica necesita de un medio y el ancho de la perturbación es igual al ancho de la función que la caracteriza en la simulación.	Categoría A

Estudiante	Respuesta	Categoría
<b>E4J</b>	Las partículas por donde se propaga el pulso cambian de posición pero regresan a su posición de origen a medida que la onda sigue su paso. No se transporta materia. La velocidad se puede calcular con una simple expresión matemática del movimiento rectilíneo uniforme.	Categoría A
	<i>La longitud de onda no depende de la velocidad de propagación de la onda</i>	Categoría J
<b>E5Y</b>	Representa una onda longitudinal. Se observa una zona donde todas las partículas se desplazan de su equilibrio y retornan a medida que la perturbación pasa. La onda se propaga hacia la derecha del medio. El desplazamiento instantáneo de las partículas se representa en la función que depende del desplazamiento longitudinal y del tiempo. La velocidad del pico de la función triangular es igual a la velocidad de la onda, el ancho de la función es la longitud de la zona perturbada. Se transporta energía, no materia.	Categoría A
	La velocidad debe ser constante si el medio no es dispersivo.	Categoría L
<b>E1C</b>	Observar y comparar datos de forma sencilla. Simular el comportamiento interno de una barra oscilante. Identificación de zonas perturbadas, velocidad de picos de funciones y otros	

**Cuadro 8-9.** Interpretación a las conclusiones de los 5 estudiantes expresadas al finalizar el tutorial con la Simulación A.

Estudiante	Interpretación
<b>E2H</b>	Discrimina entre el movimiento de las partículas del medio y el movimiento del pulso. No hace mención a las dos formas de representación del fenómeno presentadas en la simulación, lo que puede significar que no las relaciona.
<b>E6L</b>	La redacción presenta un estilo muy textual, e incluye aspectos no abordados en la simulación (señalado en cursiva).
<b>E4J</b>	Incluye una conclusión que no se deriva de la simulación y además, no se corresponde con la concepción científica (señalado en cursiva)
<b>E5Y</b>	Establece relaciones entre las dos formas de representación, y además discrimina lo que sucede con las partículas del medio donde se propaga el pulso y el propio pulso.
<b>E1C</b>	Sus conclusiones son muy ambiguas. Reflejando poca comprensión conceptual del fenómeno simulado.

**Cuadro 8-10.** Conclusiones categorizadas de los 5 estudiantes dadas al finalizar el tutorial con la Simulación **B**.

<b>Estudiante</b>	<b>Respuesta</b>	<b>Categoría</b>
<b>E2H</b>	La fuente tiene un movimiento armónico simple, el cual produce ondas armónicas y el movimiento es periódico.	Categoría A
<b>E6L</b>	<p>En una onda longitudinal, no se transporta materia y la frecuencia de oscilación es igual a la frecuencia de emisión de las ondas del generador.</p> <hr/> <p>En un medio no dispersivo la velocidad de la onda permanece constante.</p> <p>La transmisión o propagación de la onda se puede representar mediante una función armónica (en este caso).</p> <p>Los máximos de la función representativa coinciden con las zonas de mayor densidad de partículas y de energía.</p>	<p>Categoría A</p> <p>Categoría L</p>
<b>E4J</b>	<p><i>Si la longitud de onda disminuye, el periodo aumenta y la frecuencia disminuye</i></p> <hr/> <p><i>Si la velocidad aumenta entonces aumenta la frecuencia y el periodo disminuye</i></p> <hr/> <p><i>El movimiento de la fuente determina el movimiento de las partículas y del pulso.</i></p>	<p>Categoría J</p> <p>Categoría H</p>
<b>E5Y</b>	La onda propagada es armónica simple, de amplitud cte., originada por un tren de pulsos y eso produce una perturbación permanente en el medio. La frecuencia de la fuente que perturba o produce el tren de pulsos (onda) es la misma que la del movimiento del tren de pulsos a lo largo del medio, y de la partícula, por tanto, la frecuencia de la onda la determina la fuente generada	Categoría A
<b>E1C</b>	Observaba partículas oscilando alrededor de un punto de equilibrio de forma armónica, los máximos y los mínimos, y la velocidad de propagación.	

**Cuadro 8-11.** Interpretación a las conclusiones de los 5 estudiantes expresadas al finalizar el tutorial con la Simulación B.

Estudiante	Interpretación
E2H	No establece conclusiones, repite la informada dada en la simulación.
E6L	No relaciona la representación simbólica con la función representativa del movimiento de la fuente. Asocia las dos formas de representación de la onda viajera Asocia constancia de velocidad de propagación con propiedades del medio.
E4J	Ratifica un IO inicial, relación de T (o f) con la velocidad de la onda. No asocia velocidad con propiedades del medio. Pareciera haber realizado un trabajo puramente algorítmico con las variables, sin significado físico.
E5Y	No establece relaciones entre ambas formas de representación. Asocia la frecuencia de la onda y la frecuencia de las partículas con la de la fuente.
E1C	No concluye, se limita a mencionar algunas observaciones.

**Cuadro 8-12.** Conclusiones de los 5 estudiantes dadas al finalizar el tutorial con la Simulación C.

Estudiante	Respuesta	Categoría
E2H	La cuerda produce un movimiento armónico ya que la fuente produce un movimiento armónico simple, el cual a medida que aumenta la velocidad, la longitud de onda aumenta también por la relación directa $\lambda = v/f$ , en cambio si aumenta la frecuencia, la $\lambda$ disminuye por la relación inversa, $\lambda = v/f$	Categoría G
E6L	La velocidad depende de la densidad del medio	Categoría G
E4J	La velocidad de propagación es proporcional a la longitud de onda y a la frecuencia. La velocidad de propagación de las ondas cambia cuando entran en medios distintos y esto causa que la longitud de onda cambie.	Categoría J
E5Y	La frecuencia de la onda no se modifica cuando se transmite en diferentes medios, diferentes velocidades. Las propiedades del medio determinan la velocidad, mas tensión y delgadez mayor velocidad La longitud de onda depende de la frecuencia, la cual depende de la fuente	Categoría L
E1C	Estudiar fenómenos oscilatorios pero indagando mas que en las anteriores	

**Cuadro 8-13.** Interpretación a las conclusiones de los 5 estudiantes expresadas al finalizar el tutorial con la Simulación C.

Estudiante	Interpretación
<b>E2H</b>	No hace referencia al medio y su efecto en la velocidad de la onda. La relación $\lambda = v/f$ , la emplea para justificar los cambios en la longitud de onda, debido a las variaciones en la frecuencia o en la velocidad de la onda. No queda claro si tiene significado físico o es solo una manipulación matemática.
<b>E6L</b>	Da una afirmación que no se deriva de la actividad con la simulación.
<b>E4J</b>	Expresa una conclusión que refleja una falta de comprensión de las relaciones funcionales entre $f$ , $v$ , $\lambda$ , solo muestra un uso estructural matemático. No concluye nada acerca del efecto de la frecuencia de la vibración de la fuente sobre la longitud de onda, o la independencia entre la frecuencia y velocidad de la onda.
<b>E5Y</b>	Confirma la independencia entre frecuencia y velocidad de la onda Hace aportes para justificar el cambio de velocidad de la onda, relacionados con propiedades del medio. Relaciona la longitud de onda con la frecuencia
<b>E1C</b>	Ambiguas, aunque emite un juicio de valor en cuanto a que con esta simulación se profundiza en el estudio de las ondas.

Las conclusiones dadas a estos tutoriales evidencian una evolución en los IO de los estudiantes E5Y y E6L, respecto de los IO activados con los problemas de los cuestionarios (Cuadros 8: 5, 6 y 7); además, en ambos estudiantes parece que las actividades realizadas han favorecido la paulatina construcción de esquemas más afines al conocimiento de la ciencia que hemos identificado como:

*Categoría L: Confirma la independencia entre frecuencia y velocidad de la onda. Justifica el cambio en la velocidad de la onda sólo en función de cambios en las propiedades del medio.*

El estudiante E4J continúa mostrando razonamientos híbridos (Categorías: A, H, J). Mientras que la estudiante E2H pareciera que tuvo una evolución en cuanto a la discriminación entre el comportamiento de las partículas del medio y el pulso o la onda cuando se propaga por él (categoría H), pero en cuanto a la relación entre frecuencia,

velocidad y longitud de la onda (categoría J) sus respuestas, aunque se corresponden a las de la categoría L, parecieran no tener significado para ella, ya que son verbalizaciones tipo libro de texto, sin argumentación, por lo que han sido codificadas como categoría G (asume autoridad de manera acrítica). Por último, el estudiante E1C mostró una falta de comprensión frente a la tarea planteada, no pudiendo emitir conclusiones al respecto.

### 8.5.2 Fase II - B. Diseño experimental propiamente dicho

El desarrollo de la fase II, *diseño del trabajo experimental*, se inició con una sesión de integración y discusión, donde se expusieron las conclusiones dadas en los tutoriales y se analizaron las preguntas que había formulado al finalizar la fase I. Ello llevó al grupo a reajustar las preguntas e ir precisando los experimentos a diseñar.

A continuación, se hizo especial énfasis en la discriminación de las variables relevantes para el trabajo experimental propuesto y derivadas del modelo que estaban asumiendo, en un principio estas fueron: *velocidad de propagación de la onda ( $v$ )*, *frecuencia de la fuente ( $f$ )*, *longitud de la onda ( $\lambda$ )*, *medio*, *densidad del medio ( $\rho$ )*. Durante el diseño de los experimentos, el grupo efectuó observaciones directas con los resortes con lo cual incluyeron y precisaron algunas variables no consideradas antes, ellas fueron: *forma del pulso*, *altura del movimiento de la mano ( $h$ )*; *amplitud ( $A$ )*; sustitución del término *frecuencia de la fuente* por *tiempo de duración del movimiento de la mano en subir y bajar ( $t_m$ )* e incorporación del *tiempo en subir y bajar una espira ( $t_{espira}$ )*.

Dado que el medio con el que trabajarían era un resorte de demostraciones de ondas<sup>4</sup>, consideraron que las propiedades del medio factibles de influir en la *velocidad de propagación* eran la *tensión ( $T$ )* a la cual estuviese sometido el resorte y su *densidad lineal ( $\rho_L$ )*, es decir, *masa del resorte ( $m$ ) entre longitud del resorte estirado ( $L_0+L$ ): ( $m/L_0+L$ )*, para ello, supusieron que este medio era equivalente a una cuerda tensa donde la relación entre las variables se expresa según:

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

---

<sup>4</sup> Los resortes empleados para demostraciones de transmisión de pulsos y ondas, (longitud sin estirar,  $L_0$ ,  $\approx 1.85$  m y masa total,  $m$ ,  $\approx 0,64$  kg)

La incorporación de esta relación los llevó a cuestionar la conceptualización inicial: *la frecuencia de la fuente determina la velocidad de propagación de la onda*, con lo cual propusieron reformular la pregunta experimental de la siguiente manera: *¿No influye la frecuencia de la fuente en la velocidad de propagación del pulso?*

En virtud de la diversidad de experimentos y el gran número de variables que tenían que manipular, diseñaron tablas para su organización, la cual se muestra en el Cuadro 8-14. Así mismo, ensayando con los resortes y en función de los instrumentos de medidas disponibles, establecieron el número de valores que tomarían para las variables independientes (VI) en cada ensayo.

**Cuadro 8-14.** Tabla diseñada por los estudiantes para la organización de los experimentos, antes de su ejecución.

Ensayo	VI	VD	Variables a controlar	Resorte	Modelo
R <sub>j</sub>	t <sub>mi</sub> (i: 3 valores)	v <sub>exp</sub>	L <sub>o</sub> +L; T; h <sub>o</sub> ; forma	1 ó 2	V <sub>teórico</sub>
R <sub>j</sub> T <sub>i</sub> L <sub>i</sub>	T <sub>i</sub> - ρL <sub>i</sub> (i: 5 valores)	v <sub>exp</sub>	h <sub>o</sub> , t <sub>mi</sub> ; forma	1 ó 2	V <sub>teórico</sub>
R <sub>j</sub> h <sub>i</sub>	h <sub>i</sub> (i: 3 valores)	v <sub>exp</sub>	L <sub>o</sub> +L; T ; t <sub>m</sub> ; forma	1 ó 2	V <sub>teórico</sub>
R <sub>j</sub> Forma	Forma (i: 2 valores)	v <sub>exp</sub>	L <sub>o</sub> +L; T ; h <sub>o</sub> ; t <sub>m</sub> ; forma	1 ó 2	V <sub>teórico</sub>
R <sub>j</sub> t <sub>mi</sub>	t <sub>mi</sub> (i: 3 valores)	t <sub>espira</sub>	L <sub>o</sub> +L; T ; h <sub>o</sub> ; forma	1 ó 2	

Si bien durante el diseño de los experimentos iban decidiendo acerca de cómo y con qué medir algunas variables como: *forma del pulso*, *altura del pulso (h)*; *tiempo de duración del movimiento de la mano en subir y bajar (t<sub>m</sub>)*, *tensión del resorte(T)*, *longitud del resorte(L<sub>o</sub>+L)*, el problema de la **medición de las variables** planteado como una tarea específica, surgió después de haber completado el Cuadro 8-14.

Comenzaron con las mediciones de Tensión mediante un dinamómetro y Longitud del resorte con una cinta métrica, para los cuatro resortes dados, con el fin de calcular la velocidad de propagación que podría tener la onda según el modelo asumido (ec.1). Estas mediciones y cálculos les permitió observar que tenían 2 pares de resortes con propiedades elásticas semejantes, por ello decidieron trabajar con un resorte de

cada par; sin embargo, al observar la propagación del pulso en cada uno de ellos, encontraron que en uno era muy rápida, y consideraron que se les dificultaría la medición de la velocidad, por lo cual fue descartado.

Con el resorte seleccionado, intentaron medir la velocidad de propagación de los pulsos con reglas y cronómetros, pero no pudieron discriminar su variabilidad para los valores asignados a las variables independientes. En tal sentido, se les ofreció una opción de procedimiento experimental de medición, la cual consiste en tomar películas en video del movimiento del pulso a lo largo del resorte, y luego medir posiciones y tiempo con el programa VideoPoint<sup>TM(5)</sup> en el computador.

Los estudiantes planificaron las tomas de las películas que necesitaban para los diferentes experimentos propuestos. Emplearon una cámara de video Panasonic Palmcorder, modelo NV-RJ47PN. El resorte reposaba en un banco horizontal de cemento liso cuya longitud era mayor a la requerida por los estudiantes. Las tomas las efectuaron desde una altura de aproximadamente 2.5 m, con luz natural y con una velocidad de 1/500s. Cada toma (viaje de ida y vuelta del pulso) se realizó dos veces, para un total de 24 tomas.

Las películas fueron digitalizadas por la profesora mediante el programa iMovie<sup>6</sup>, con un formato .mov y la siguientes especificaciones: Cinepak, 330 x 247, millones de colores, audio sin compresión (Monoaural, 44.1 hz, 8 bits), 29.95 cuadros/s. Se seleccionaron las doce películas de mejor calidad; cada una contentiva del viaje de ida y vuelta del pulso, con un promedio de 30 cuadros a un intervalo de tiempo de 1/29.95 s. entre cuadros. Este procedimiento le fue explicado a los estudiantes; además, se les entregó una muestra impresa en papel de N cuadros de una de las películas (Fig. 8-5).

---

<sup>5</sup> VideoPoint<sup>TM</sup> (v.2.5) Lenox Software Lenox, MA.01240, © 2001, licencia de Maite Andrés.

<sup>6</sup> iMovie, 2.1.1 Corporation Apple Computer, Inc 2000-2001, licencia de Maite Andrés.

**Figura 8-5.** Impresión del cuadro # 10 de una película tomada para el estudio de la relación entre forma del pulso y la velocidad de propagación del mismo ( $T=(8.5 \pm 0.5)N$ ;  $\rho_L = (0.143 \pm 0.001) \text{ kg/m}$ )



Con la observación de las películas en el computador, los estudiantes discutieron acerca de la disminución en el tamaño (altura) del pulso, surgiendo entonces dos CEA: *disipación de energía* y *amplitud de la onda*, asociados entre si con un TEA: *Si la amplitud de la onda disminuye hay disipación de energía*. Debido a ello, formularon una nueva pregunta *¿cuánto disminuye la altura del pulso ( $A$ ) en el tiempo?*.

Se ilustró el funcionamiento del programa VideoPoint con una de las películas, después los estudiantes interactuaron con el programa para aprender a utilizarlo, y en colectivo establecieron el procedimiento para medir las variables de interés, lo que se describe a continuación:

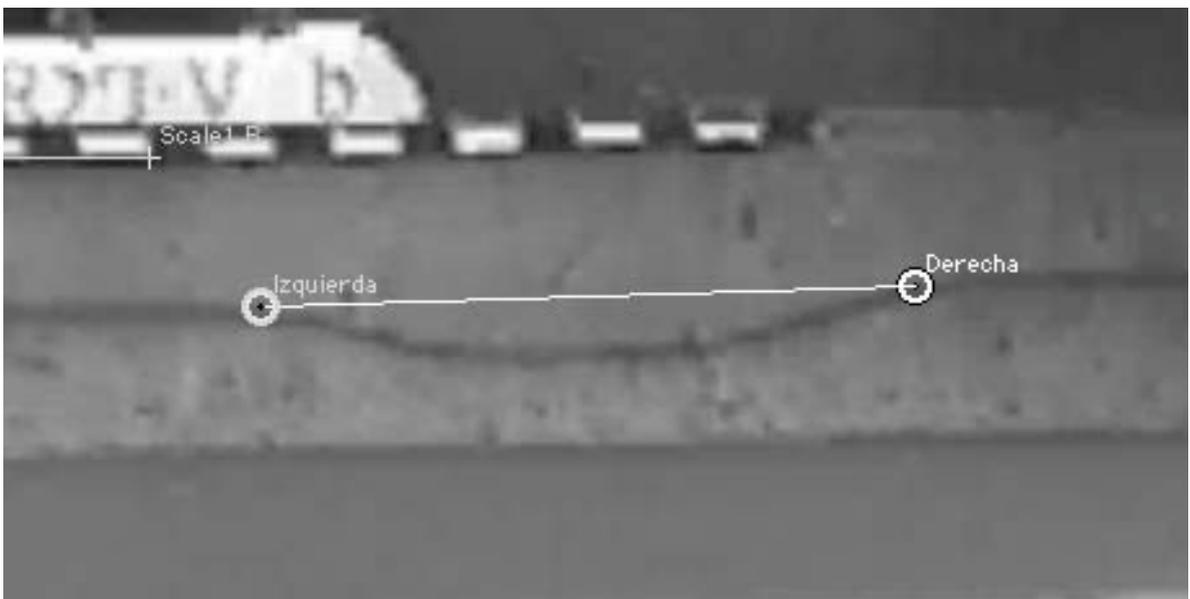
1. *Posición del pulso ( $x$ ):* se marca la posición del pulso durante el recorrido tomando un punto de referencia de la perturbación, para ello escogieron el punto más alto del pulso, después de varias pruebas (Fig. 8-6).

**Figura 8-6.** Registro de las posiciones del pico del pulso que se propaga en un resorte tenso, en cada cuadro de la película ( $\Delta t = 0.033$  s). Las medidas se efectuaron con el programa VideoPoint™.



2. *Longitud del pulso ( $\lambda$ ):* se marca la posición del comienzo y del final de la perturbación en cada cuadro; ya que el programa les permitía determinar la distancia entre ese par de puntos (Fig. 8-7).

**Figura 8-7.** Registro de las posiciones inicial y final de una perturbación que se propaga en un resorte tenso en un instante determinado. Medidas realizadas con el programa VideoPoint™.



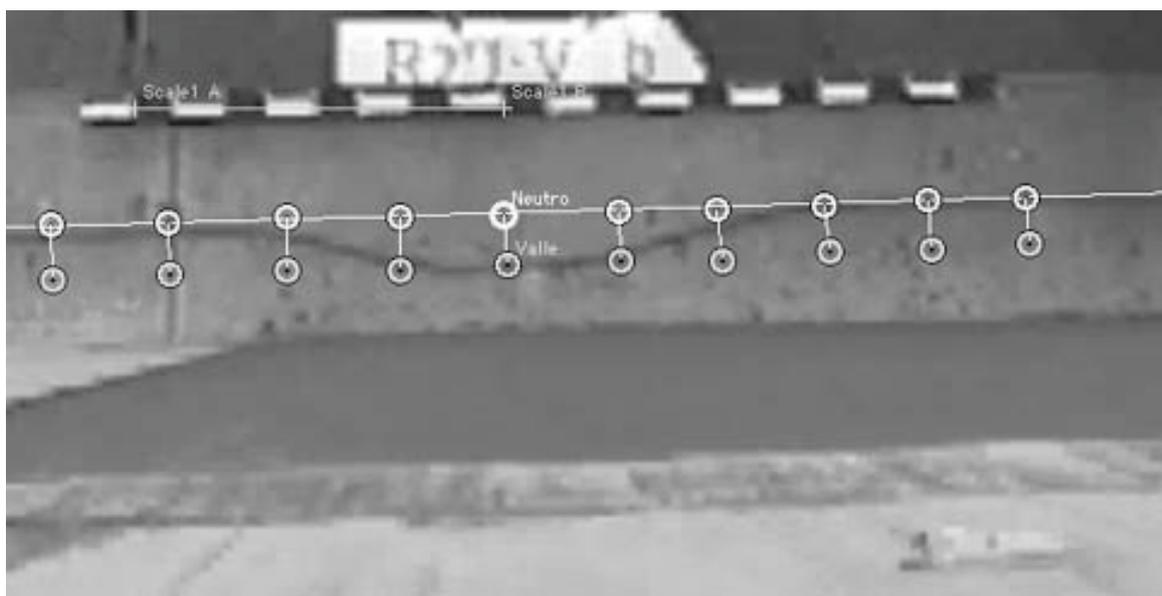
3. *Altura del movimiento de la mano (h)*: se marca la posición de la mano en el punto de reposo y en la posición en el punto más alto (Fig. 8-8).

**Figura 8-8.** Registro de las posiciones de la mano en el punto de reposo y en el punto más alto. Las medidas se efectuaron con el programa VideoPoint™.



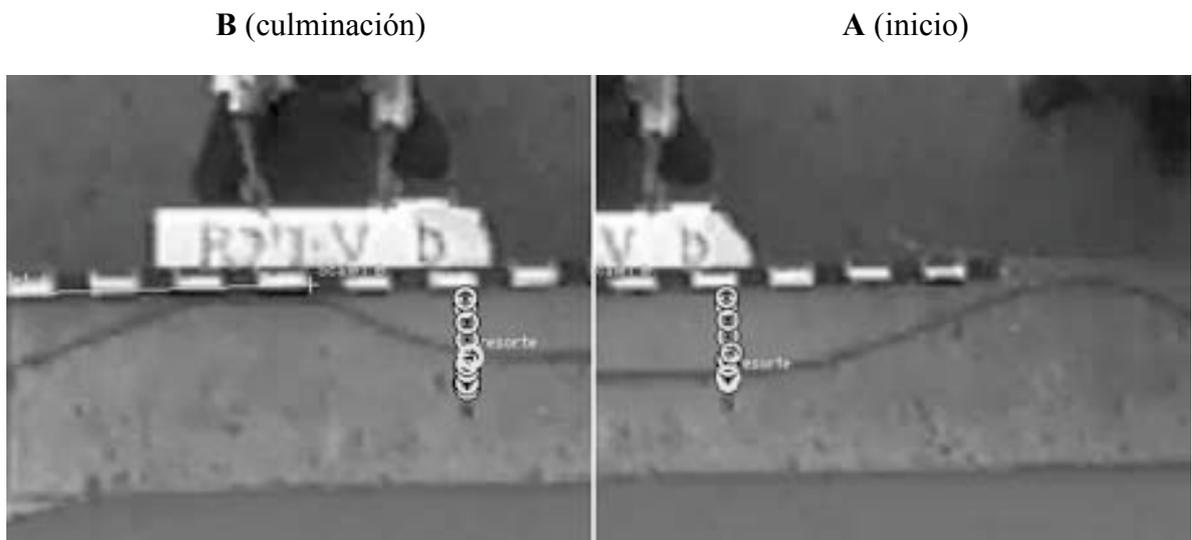
4. *Amplitud o altura del pulso (A)*: se marca la posición del punto más alto del pulso y la posición en la línea de reposo para diferentes momentos. El programa les permitía determinar en tiempo real la distancia entre estos pares puntos (Fig. 8-9).

**Figura 8-9.** Registro de la distancia entre la posición del pico del pulso que se propaga en un resorte tenso, y la posición en la línea de reposo, para cuadros consecutivos de la película ( $\Delta t = 0.033s$ ). Medidas realizadas con el programa VideoPoint™.



5. *Tiempo en subir y bajar una espira ( $t_{espira}$ ):* tomando como referencia un punto en el resorte, se marcan las diferentes posiciones de este punto mientras se propaga el pulso por él. Con la tabla de datos registrada por el programa, determinaban la diferencia de tiempo desde que empieza a pasar el pulso hasta que termina su propagación por ese punto del resorte (Fig. 8-10 A y B).

**Figura 8-10.** Registro de las sucesivas posiciones de un punto de referencia en el resorte durante el paso de un pulso que se propaga en él. Intervalo de tiempo entre cuadros de la película: 0.033s. Medidas realizadas con el programa VideoPoint™. A) Comienza a propagarse el pulso por el punto de referencia. B) Termina el paso del pulso por el punto de referencia



6. *Tiempo de duración del movimiento de la mano en subir y bajar ( $t_m$ ):* con la tabla de datos registrada por el programa en la medición de posición de la mano (3), determinaron el intervalo de tiempo entre la posición de la mano al momento de subir y cuando estaba de regreso en la posición de reposo.

El trabajo de medición de las variables para las seis (6) relaciones que se habían propuesto estudiar fue distribuido entre los estudiantes. Pero todos tenían en común las mediciones relativas a la variación de la altura del pulso con el tiempo. Los datos de las medidas efectuadas con el VideoPoint fueron exportados en archivos formato .txt para que pudieran ser procesados con algún programa de hoja de cálculos, los estudiantes emplearon el programa Excel.

### 8.5.3 Fases III y IV. Procesamiento y análisis de los datos

Los estudiantes con los datos que habían medido en grupos, efectuaron el procesamiento y análisis de manera individual asesorados por el docente. A efecto del desarrollo de estas tareas se les indicó que debían tomar en cuenta las preguntas formuladas y sus respectivos experimentos. Al finalizar el trabajo, los estudiantes integraron los resultados para elaborar el reporte final; para lo cual formaron dos grupos.

Durante el procesamiento y análisis de los datos, surgieron algunas situaciones que ameritó la toma de decisiones por parte de los estudiantes. Los cuales se describen a continuación:

- i) Para la realización del ensayo en el que variaban el tiempo en subir y bajar la mano ( $tm$ ) con el fin de evaluar su efecto sobre la velocidad de propagación del pulso habían previsto tres valores de tiempo, las cuales hicieron mediante la sincronización del movimiento de la mano con un metrónomo. Sin embargo, al medir estos tiempos con el programa VideoPoint, encontraron que sólo podían discriminar dos valores de  $tm$ .
- ii) En el experimento donde variaban la altura del movimiento de la mano ( $h$ ) encontraron que en uno de los casos el pulso generado tropezaba con las reglas de referencia colocadas para las películas, por lo que decidieron descartarla, quedándose con dos valores para la variable  $h$ .
- iii) La *velocidad de propagación* del pulso fue obtenida de la pendiente de la grafica *posición del pulso* en función del *tiempo*, para ello determinaron la mejor recta entre cada conjunto de datos mediante el ajuste de tendencias en Excel. Decidieron que la tendencia a calcular con el Excel era la lineal, en base a la observación de los registros de las posiciones del pulso en la pantalla del computador (Fig. 8-6) y a los resultados esperados ( $v$  constante) según el modelo de propagación de onda en medios no dispersivos. Por otra parte, los estudiantes decidieron tomar las medidas de la posición del pulso sólo durante el viaje de ida y dentro del intervalo de tiempo comprendido entre el instante en que la mano volvía al reposo y el instante antes de llegar al extremo contrario.
- iv) Al analizar los resultados del estudio de la velocidad de propagación según las condiciones del medio (tensión-densidad lineal) y contrastarlos con los valores de

velocidad calculados según el modelo, encontraron una discrepancia sistemática entre ambos. Estos resultados llevó a los estudiantes a realizar de nuevo las medidas de longitud del resorte y tensión, obteniendo valores que consideraron semejantes dentro de la incerteza estimada. Luego, evaluaron la diferencia y la razón entre la *v<sub>experimental</sub>* y la *v<sub>teórica</sub>*, encontrando que la segunda era constante. Sin embargo, no lograron una explicación para esta discrepancia durante este TL.

#### **8.5.4 Síntesis de la observación en aula durante la ejecución de las Fases II a IV del TL**

En síntesis, ante la tarea de **diseñar los experimentos** se observó que hubo una planificación previa de los mismos, en donde se discriminaban las variables: independiente, dependiente e intervinientes para cada caso, como lo muestra el Cuadro 8-14 elaborado por los estudiantes. Ello pone en evidencia que para la resolución de esta tarea: **diseñar el experimento**, se construyó un esquema que tiene implícitos los siguientes conceptos-en-acción, CEA, y teorema-en-acción, TEA:

CEA: Experimento, variable: independiente, dependiente e intervinientes, medición, relación entre variables, control de variables.

TEA: *“Al estudiar una relación entre dos variables es necesario asignarle valores a la variable independiente y medir su efecto sobre la variable dependiente, manteniendo fijas las otras variables que intervienen en el fenómeno”*

Ante la tarea de **medir**, los estudiantes consideraban que una sola medición no era suficiente y que debían hacer varias medidas en cada caso. También durante este proceso tomaron decisiones en cuanto a la confiabilidad de la medida y la estimación de las incertezas, como son:

- Comparar medidas realizadas por diferentes estudiantes o con diferentes instrumentos, por ejemplo, en la medida de tensión sobre el resorte con el dinamómetro.
- En las medidas con el programa del VideoPoint<sup>TM</sup> repitieron una misma medición para establecer una estimación de la incerteza en la medida que ellos mismos podían producir.

En relación con el **procesamiento de datos**, se observaron cuadros bien organizados, identificando las variables, las unidades y las incertezas estimadas. En el

caso de las medidas indirectas, como la velocidad de propagación del pulso, tomaron como error el determinado por el coeficiente de correlación dado en el ajuste de tendencias. Algunos, determinaron la velocidad media entre cada par de datos posición-tiempo de la tabla, y así obtener el promedio y la desviación estándar, lo que contrastaron con el valor obtenido de la pendiente del gráfico  $x: f(t)$ . También, establecieron comparaciones cualitativas entre los resultados experimentales y los valores calculados con el modelo teórico (ec. 1) para las medidas de velocidad de propagación del pulso, encontrando que el comportamiento de la velocidad en función de las propiedades del medio (tensión y densidad lineal) se correspondía con lo esperado, pero con una discrepancia sistemática, que en principio pensaron que podía deberse a un error en las lecturas de algunas medidas (tensión sobre el resorte, longitud del resorte y posiciones del pulso) por lo que las repitieron, sin embargo, los nuevos datos mostraban la misma discrepancia ratificando la validez de los datos anteriores. En virtud de lo cual decidieron mantener estos datos e intentar encontrar una explicación coherente.

Las observaciones realizadas por el docente durante el desarrollo de las fases II a IV del TL, muestran que respecto del estado inicial de los estudiantes<sup>7</sup>, hubo una evolución en su desarrollo conceptual en relación con la ejecución de dichas tareas propias de la actividad experimental. Se observó que aún cuando se seguía el plan de acción general, estas tareas no fueron ejecutadas de manera automática, en su desarrollo se dieron procesos iterativos de acción, reflexión y toma de decisiones, los cuales en algunos momentos llevó a los estudiantes a revisar tareas anteriores. También se observó una interrelación explícita entre las preguntas formuladas, el experimento, los datos y los resultados esperados.

---

<sup>7</sup> Resultados del estudio piloto, capítulo 7.

## **8.6 RESULTADOS DEL MOMENTO DE INVESTIGACIÓN III: EVALUACIÓN DE LOS APRENDIZAJES LOGRADOS**

El Trabajo de Laboratorio TL que se desarrolló en este ensayo, enfrentó a los estudiantes ante situaciones-problema no conocidas, cuya resolución fue mediada por el docente de manera intencional, en atención a las metas de aprendizaje establecidas y bajo la orientación del modelo MATLaF propuesto.

De acuerdo con el marco referencial de este estudio se considera que el abordaje y dominio final de una nueva situación-problema debería promover nuevos aprendizajes. Por lo cual, se presume que el TL desarrollado le permitiría a los estudiantes avanzar en el logro de los aprendizajes explícitamente planteados en la sección anterior.

Con el fin de evaluar el cambio y la evolución en las conceptualizaciones de los estudiantes tanto en el dominio teórico como en el dominio metodológico, se llevó a cabo la contrastación entre el Estado inicial (Momento de Investigación I y estudio piloto) y el Estado final del desarrollo conceptual.

El Estado Final de los estudiantes al culminar el TL, se estableció a partir de dos producciones escritas:

- i) Los reportes finales elaborados por cada estudiante al culminar la Fase V según el plan de acción del TL.
- ii) Las respuestas escritas individuales dadas a dos nuevas situaciones-problemas (Cuestionario Final) que se les presentó después de la entrega de los reportes. Estas situaciones estaban referidas a: propagación de pulsos en cuerdas tensas, y relación entre la velocidad de propagación del pulso y características de la fuente y del medio de propagación.

### **8.6.1 Estado final: Resultados de los Reportes Finales**

Los **reportes finales** formaban parte de la evaluación del curso. Tal como se hizo en el estudio piloto, la única sugerencia que se les dio a los estudiantes fue que el informe debía contener todo lo relativo a los elementos del plan general (Figura 8-1). Hay que destacar que los estudiantes habían recibido las observaciones de la evaluación de los reportes del TL correspondiente al estudio piloto. Consecuente con estos criterios

y en atención a los objetivos de aprendizaje de este estudio, el contenido de los reportes fue analizado en atención a: *análisis conceptual, descripción de los experimentos, procesamiento y transformación de los datos, análisis de los datos y conclusiones*, aspectos fundamentales de todo trabajo de investigación científica. Este análisis se llevó a cabo mediante un conjunto de categorías que sintetizan las acciones más relevantes para la ejecución del TL propuesto, los cuales fueron empleadas en la evaluación. Los resultados de la evaluación fueron discutidos con cada uno de los estudiantes, lo cual ha sido considerado para efectos del estudio como una estrategia de validación de resultados.

Los resultados del análisis de los reportes de cada estudiante según las categorías establecidas después de su discusión, se presentan en el Cuadro 8-15(A-B-C-D).

La evaluación de los reportes según las categorías muestra que el estudiante E4J expresó con detalle todo el trabajo realizado, con gran coherencia y evidenciado tener significado para él. Y el estudiante E6L aunque no comunicó algunas acciones relevantes del TL como son: caracterización de los instrumentos de medición, ajuste de cifras significativas en tablas de datos, caracterización de los instrumentos de medición, y procedimientos empleados para el control de variables; por la descripción de otras tareas reportadas, tales como la presentación de los datos, pareciera que dichas acciones si las ejecutó y las tomó en cuenta.

La estudiante E5Y no coloca de manera explícita cuáles son sus hipótesis en base al modelo considerado, sin embargo, en el análisis e interpretación de los datos que reporta éstas se hacen visibles, por ello, en la evaluación se consideró que si estaban en el reporte aunque no aparecían explícitamente expresadas; el resto de su reporte es claro y coherente. El estudiante E1C centró su comunicación en el procesamiento, transformación, y análisis e interpretación de los resultados; se observa que la sección del análisis conceptual es un resumen de un libro de texto acerca del tema de ondas, sin integración interna ni con el TL. Además, en la sección de descripción de experimentos, el estudiante sólo nombra las variables de cada experimento realizado y describe el procedimiento empleado para su medición.

**Cuadro 8-15.** Evaluación de los Reportes Finales por estudiante, según las categorías establecidas (N:5) (X: presencia del rasgo en el reporte)

<b><i>A. Análisis Conceptual</i></b>	<b>E5Y</b>	<b>E6L</b>	<b>E2H</b>	<b>E1C</b>	<b>E4J</b>
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 claves 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
* Síntesis de la teoría presentada en los libros de textos, sin relación con la situación-problema del TL					
<b><i>B. Descripción de experimentos</i></b>	<b>E5Y</b>	<b>E6L</b>	<b>E2H</b>	<b>E1C</b>	<b>E4J</b>
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
<b><i>C. Procesamiento y Transformación de datos</i></b>	<b>E5Y</b>	<b>E6L</b>	<b>E2H</b>	<b>E1C</b>	<b>E4J</b>
Ajusta cifras significativa 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 graficas 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
<b><i>D. Conclusiones</i></b>	<b>E5Y</b>	<b>E6L</b>	<b>E2H</b>	<b>E1C</b>	<b>E4J</b>
Organizadas en relación a 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

Por ultimo, la estudiante E2H no logra comunicar el trabajo que realizó, además no discrimina entre las diferentes tareas propias del TL separadas y ejecutadas en fases según el plan general seguido. Aunque presenta una buena descripción de los experimentos realizados, en la sección de resultados incluye las tablas de datos y los gráficos de posición-tiempo acompañados sólo con una descripción y sin analizar; luego, en la sección de conclusiones describe otra vez los procedimientos experimentales y los gráficos con afirmaciones que no respalda con resultados, como por ejemplo:

E2H: *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.*

E2H: *Con la realización del gráfico posición - tiempo, podemos notar una recta que se acerca al origen, tiene una pendiente el cual es la velocidad, podemos decir que la velocidad es constante ya que esta depende de las propiedades del resorte mas no de la amplitud que se halla determinado*

Un segundo análisis de los reportes, se hizo en base a las dos categorías: *estándar* y *evolucionado*, establecidas en el Estudio Piloto (Capítulo 7). Se considera como *reporte estándar*, a aquel que si bien puede contener todas las secciones estimadas como necesarias, la información en ellas o entre ellas no está integrada. Como por ejemplo, un reporte en el que el análisis conceptual es un resumen del tema en el cual está inmerso el TL, y de él no se derivan implicaciones para la actividad experimental realizada y menos aún para el análisis de datos; además, las transformaciones de datos que se presentan reflejan acciones rutinarias con poco significado, y no son analizadas. Y, las conclusiones son repeticiones de los resultados.

Por otra parte, un *reporte evolucionado* es aquel en el que se observa coherencia entre las diferentes secciones e integración entre lo teórico y lo experimental. El análisis conceptual tiene como finalidad presentar un modelo explicativo que resuelva el problema planteado y oriente la actividad experimental. El procesamiento y las transformaciones de datos se hacen en atención al modelo asumido o en construcción

como posible solución, y en las conclusiones se observa una triangulación entre: las preguntas planteadas, los resultados y lo esperado según el modelo (hipótesis).

En atención a esta clasificación de los reportes se puede decir que tres de los estudiantes presentaron reportes del tipo evolucionado (E6L, E4J y E5Y). Un estudiante (E1C) 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. Por último, el reporte de la estudiante E2H es del tipo estándar.

También se realizó un análisis del contenido de las conclusiones para identificar las conceptualizaciones de cuatro (4) de los estudiantes<sup>10</sup>, las cuales fueron expresadas como afirmaciones que se derivan del TL reportado. Estas conceptualizaciones son presentadas textualmente a continuación:

- *Para diferentes frecuencias del generador la velocidad de propagación es la misma, manteniendo el medio constante*
- *Las rapidez de los pulsos dependen de las características del medio y no de la forma de éstos.*
- *Las amplitudes de los pulsos varían con el tiempo, no se pudo determinar cómo es el decaimiento temporal de la amplitud*
- *Con cualquier forma que le demos al pulso se obtendrá una velocidad de propagación constante, para iguales condiciones del medio.*
- *La velocidad es constante; ésta depende de las propiedades del resorte mas no de la amplitud del pulso.*
- (Referido a un trozo de resorte, una espira) *Con respecto a la posición en el eje x (dirección de propagación del pulso) permanece constante, en cambio con relación a la posición del eje y, se observa que la espira sube y baja, es decir, se mueve verticalmente cuando pasa el pulso por el punto determinado. Entonces se ve que una onda que viaja a través de un resorte corresponde a una energía transportada a través del resorte, sin una transferencia neta de materia.*

---

<sup>10</sup> La estudiante E2H no elaboró conclusiones.

- *La velocidad de propagación del pulso es constante, y es igual en el viaje de ida que en el viaje de vuelta.*
- *Parece que el ancho del pulso permanece constante durante su propagación.*
- *El tiempo del movimiento de la mano es igual al tiempo de la espira en subir y bajar.*
- *Se fijó una frecuencia y se variaron las condiciones del resorte para producir diferentes velocidades de propagación, entonces a medida que la velocidad de propagación aumenta, la longitud de onda aumenta; igualmente, si la velocidad disminuye la longitud de onda disminuye,*
- *La velocidad de propagación al cuadrado tiene una relación proporcional con Tensión entre Densidad Lineal del resorte.*

### **8.6.2 Estado Final: Resultados del Cuestionario Final**

El **Cuestionario Final** (Anexo 8-C) presentaba dos situaciones (A y B) relacionadas con la propagación de pulsos en cuerdas tensas. En la situación A se plantea en forma escrita, la existencia de dos medios idénticos (cuerdas tensas) que están bajo las mismas condiciones (tensión), y en un dibujo se representa, para un instante de tiempo  $t$ , un pulso que viaja por cada cuerda, los cuales tenían diferente amplitud e igual ancho, y donde un pulso (cuerda 2) estaba adelantado respecto del otro (cuerda 1). En relación a esta situación se hacen tres afirmaciones cuya validez debe ser analizada por los estudiantes.

La primer afirmación es *La velocidad de propagación del pulso en la cuerda 2 es mayor que en la cuerda 1*, ella no es aceptada desde el campo conceptual de ondas mecánicas, ya que las propiedades del medio en ambas cuerdas son idénticas lo que implica que la velocidad de propagación de los pulsos en ambas debe ser igual. La respuesta dada por cada uno de los estudiantes se presenta en el Cuadro 8-16.

Como se puede notar, todos los estudiantes para evaluar la afirmación hacen uso de unos IO que se corresponden con los conceptos y teoremas esperados desde el conocimiento científico. Además, tres de ellos emplean dos formas de representación, la lingüística y la simbólica matemática. Los IO (Categoría L) empleados por todos los estudiantes son:

CEA: *Velocidad de propagación de ondas en cuerdas, tensión de la cuerda, cuerdas idénticas, densidad lineal.*

TEA: *Si las cuerdas son idénticas tienen igual densidad lineal.*

*Si la Tensión (T) sobre las cuerdas es la misma y su densidad lineal ( $\rho$ ) también, los pulsos que viajen por ellas tendrán igual velocidad de propagación (v), por que:*  
 $v = (T/\rho)^{1/2}$

**Cuadro 8-16.** Respuesta de los cinco estudiantes ante la afirmación 1 de la situación A del Cuestionario Final.

Estudiante	Respuesta
E2H	No, las velocidades deben ser iguales ya que las cuerdas son idénticas y con igual tensión
E6L	Considerando que la tensión de ambas es la misma y además son idénticas (supongo en densidad lineal) la afirmación es falsa Las velocidades deben ser idénticas por la dependencia con T y densidad lineal $v = (T/\rho)^{1/2}$
E4J	Falso, ya que si las cuerdas son idénticas, tienen igual densidad lineal y tienen la misma Tensión, entonces la velocidad en ambas es igual
E5Y	(Escribió todo en forma simbólica) $A_1 < A_2$ $T_1 = T_2 \text{ y } \rho_1 = \rho_2 \text{ implica que } v_1 = v_2$ Si las propiedades del medio son iguales las velocidades son iguales porque $v = (T/\rho)^{1/2}$
E1C	Como en este caso $v = (T/\rho)^{1/2}$ se tiene que las Tensiones son iguales y las cuerdas son idénticas, entonces: $v_1 = v_2$

La segunda afirmación presentada es: *El pulso 2 se envió antes que el pulso 1.* La respuesta dada por cada uno de los estudiantes se presenta en el Cuadro 8-17. Se observa que cuatro de los estudiantes consideraron la afirmación como verdadera, argumentando la respuesta con la justificación dada a la cuestión anterior, con lo que ratifican la activación de los mismos IO (Categoría L). Mientras que la estudiante E2H considera la afirmación como factible basándose en que dicha información no está explícita en el planteamiento de la situación, lo que lleva a pensar que la respuesta dada por ella a la cuestión anterior, fue generada por un esquema que se activó de manera automática (Categoría G).

**Cuadro 8-17.** Respuesta de los cinco estudiantes ante la afirmación 2 de la situación A del Cuestionario Final

Estudiante	Respuesta
E2H	Puede ser, el enunciado no dice si se enviaron al mismo tiempo
E6L	Tomando en cuenta lo anterior esta es la respuesta mas lógica. Si la velocidad es la misma para ambas cuerdas, es muy posible que el pulso dos haya sido enviado antes que el 1
E4J	Es obvio que el pulso 2 se envió antes, ya que ambas (cuerdas) tienen las mismas características y la misma Velocidad. El pulso 2 tuvo que salir primero pues recorrió mas distancia que el pulso 1
E5Y	Es posible, no se dice en el enunciado que el tiempo inicial considerado sea el mismo para enviar los pulsos $t_2 < t_1$ Para que el pulso 2 este adelantado al pulso 1 es por que debe haber salido antes ya que sus velocidades son iguales.
E1C	Como $v_1 = v_2$ , es de esperar que si los pulsos se generan al mismo tiempo entonces en cualquier instante deberán haber avanzado la misma longitud. De acuerdo con la figura puede verse que un pulso ha avanzado mas que el otro, el 2 mas que el 1, por lo que puede decirse que el 2 se envió primero.

La tercera afirmación es: *El tiempo que demoran las personas en subir y bajar la mano para producir el pulso es el mismo.* Esta afirmación requiere que los estudiantes ratifiquen que la velocidad de propagación de los pulsos es independiente de las características de la oscilación de la fuente (frecuencia y amplitud), y además, que tomen en cuenta que según el dibujo, el ancho de los dos pulsos es igual, variable que depende de la velocidad de propagación del pulso y de la frecuencia. Con ello pueden concluir que el tiempo del movimiento de subir y bajar la mano también debe ser el mismo en ambos casos. La tarea a resolver demanda el manejo simultáneo de tres variables ( $v$ ,  $f$  y  $\lambda$ ) relacionadas entre si, en donde dos de ellas dependen a su vez de otras variables ( $v$  depende de las propiedades del medio, y  $f$  depende de la fuente). Además, la tarea requiere considerar la información gráfica dada acerca de la amplitud de los pulsos. Todo lo anterior muestra que la tarea es mas compleja que las anteriores, lo cual se pone en evidencia con los resultados obtenidos.

La respuesta dada por cada uno de los estudiantes se presenta en el Cuadro 8-18. Se obtuvo que los estudiantes E2H, E6L y E1C, responden que la afirmación es falsa, sus justificaciones se basan en un argumento que se relaciona con la respuesta dada a la cuestión anterior: pareciera que consideraron los dos casos como equivalentes, activando los mismos IO para resolverlos (Categoría L).

El estudiante E4J le asigna el mismo significado al tiempo que tarda la mano en subir y bajar que a la frecuencia, y esto lo relaciona con la longitud de onda; sin embargo, también asocia la longitud de onda con la amplitud, por lo que termina con dos posibles soluciones que se contradicen.

La estudiante E5Y emplea dos TEA que la llevan a resultados contradictorios:

- Categoría J. *En un medio no dispersivo tanto la velocidad como la amplitud son independientes de la frecuencia o de la longitud de la onda.*

- Categoría L. *Si las velocidades de las ondas son iguales y las longitudes de las cuerdas son iguales, las frecuencias también serán.*

En el primer TEA, E5Y considera como conceptos equivalentes a la frecuencia  $f$  y a la longitud de la onda  $\lambda$ , mientras que en el segundo TEA, discrimina entre ellos.

**Cuadro 8-18.** Respuesta de los cinco estudiantes ante la afirmación 3 de la situación A del Cuestionario Final

Estudiante	Respuesta
E2H	No, el tiempo puede variar muy poco y si el pulso se envió antes no podemos decir que el tiempo es el mismo.
E6L	El hecho de tardar el mismo en tiempo en subir y bajar no implica que el pulso este por delante de otro, es falso.  Considerando que la velocidad es constante, $x = vt$ . Si considero posición del máximo de la pulsación para el momento en el que la mano se ha detenido, éste se ha desplazado $x$ por todo: $x/v = t_{mano}$
E4J	El tiempo de subir y bajar equivale a la frecuencia del generador, esto puede ser correcto, la longitud de onda es la misma.  Ahora por la amplitud, se puede decir que la mano tardó más en subir y bajar en el pulso 2 que en el 1. La frecuencia influye en la longitud de onda, no en la amplitud
E5Y	No necesariamente, las frecuencias de los pulsos pueden ser iguales o diferentes, eso no se especifica. Si se trata de una propagación en un medio no dispersivo tanto la velocidad, como la amplitud son independientes de la frecuencia o de la longitud de la onda.  La frecuencia del pulso se relaciona con la del oscilador. Las longitudes son las mismas (por el dibujo) por lo que:  Si las velocidades son iguales y las longitudes son iguales, las frecuencias también
E1C	Nótese que $v$ esta representada por $v = (T/\rho)^{1/2}$  Si las personas comienzan a generar el pulso en el mismo tiempo pero no terminan igual, se puede ver de la relación anterior que $V$ solo depende de $T$ y $\rho$ , como estas son iguales, entonces un pulso no se generó al mismo tiempo que el otro, es decir, el tiempo en subir y bajar no fue el mismo.

La situación B del Cuestionario Final (Anexo 8-C) difiere de la situación A en que en ella las cuerdas (medios) no son idénticas y los pulsos se emiten en simultáneo. La grafica muestra al pulso de la cuerda 2 adelantado respecto del pulso de la cuerda 1. Se plantean dos preguntas, la primera es *¿Las velocidades de propagación de los pulsos son iguales?* Y la segunda cuestión es *¿El tiempo que demoran las personas en subir y bajar la mano para producir el pulso es el mismo?*

Los resultados obtenidos ante la primer pregunta, son presentados en el Cuadro 8-19. De las respuestas, se observa que cuatro estudiantes emplearon el mismo esquema activado para la afirmación 1 de la situación A (categoría L); sin embargo, dos de ellos (E6L y E4J) complementan su respuesta poniendo en evidencia el uso de otros CEA y TEA, y de múltiples formas de representación, ya que utilizan la información gráfica (distancia recorrida por los pulsos) y la escrita (parten simultáneamente) para establecer cuál pulso tiene mayor velocidad (TEA: *si la velocidad es constante entonces  $v=d/t$ . Como el tiempo es el mismo para los dos pulsos, y la distancia recorrida por el pulso 2 es mayor que la del pulso 1, la velocidad del pulso 2 es mayor que la del pulso 1*).

**Cuadro 8-19.** Respuesta de los cinco estudiantes ante la pregunta B.1 de la situación B del Cuestionario Final (El texto en cursivas son comentarios agregados).

Estudiante	Respuesta
E2H	No, si las cuerdas son distintas, las velocidades no son iguales.
E6L	No, las cuerdas son distintas, además no mencionan las condiciones de Tensión. $v_2$ mayor que $v_1$ , ya que parten al mismo tiempo, ( <i>parece considerar las distancias recorridas en el dibujo</i> ) pero esto implica que la tensión en la cuerda 2 es mayor que la tensión en la cuerda 1.
E4J	No, las cuerdas son distintas, por lo que las velocidades son distintas. Además, el dibujo muestra que el pulso 2 tiene mayor velocidad que el pulso 1 ya que ha recorrido más distancia.
E5Y	No, la propiedades de las cuerdas son diferentes: $T_2 \neq T_1$ y $\rho_2 \neq \rho_1$ , por lo tanto, $v_2 \neq v_1$
E1C	Como sabemos $v = (T/\rho)^{1/2}$ la velocidad depende de la relación $(T/\rho)^{1/2}$ No necesariamente tienen que tener la misma velocidad, aunque se debe cumplir con la relación $v = (T/\rho)^{1/2}$ . Esto significa extender o aplicar la relación a ambas cuerdas, es decir, a través de la relación se determina la velocidad de las cuerdas

En relación con los resultados obtenidos de la segunda cuestión *¿El tiempo que demoran las personas en subir y bajar la mano para producir el pulso es el mismo?*, se tiene que al igual que en la tercera afirmación de la situación A, la tarea es compleja. De las respuestas dadas por los cinco estudiantes (Cuadro 8-20), se observa que uno solo (E4J) activa todos los IO necesarios desde la perspectiva de la física, y además, maneja múltiples variables interdependientes, con lo cual logra resolver la situación; el nuevo esquema construido por este estudiante lo hemos identificado como:

*Categoría L': Emplea las relaciones establecidas en el esquema denominado categoría L, de manera integrada, es decir, manejando múltiples variables interdependientes.*

La estudiante E2H no asocia la pregunta a variables del problema. El estudiante E6L no sabe cómo responder y resuelve la situación estableciendo semejanza con el caso 3 de la situación A (Categoría L). La estudiante E5Y no discrimina entre la diferencia de tiempo en que se generan ambas perturbaciones y el tiempo que dura el movimiento de la mano que las produce, en consecuencia, parece que sólo activa el TEA que relaciona propiedades del medio con velocidad de propagación. De igual forma el estudiante E1C intenta resolver la situación sólo con el mismo TEA de la pregunta anterior (relación entre propiedades del medio con velocidad de propagación).

**Cuadro 8-20.** Respuesta de los cinco estudiantes ante la pregunta B.2 de la situación B del Cuestionario Final

Estudiante	Respuesta
E2H	Si, si están de acuerdo en subir al mismo tiempo, al bajar pueden hacer lo mismo.
E6L	No se, solo se que lo inician en el mismo instante Creo que es parecido a la afirmación 3 de la situación anterior (A)
E4J	No, aunque las $A_2 > A_1$ , en el dibujo se puede decir que las longitudes de onda son iguales. Como las cuerdas son distintas, implica que las velocidades son distintas. Para que haya una proporcionalidad $v = \lambda f$ , las frecuencias deben ser distintas. Para que las longitudes de onda sean iguales como parece indicar el dibujo, $v_1/f_1 = v_2/f_2,$ como las velocidades son distintas, entonces $f_1$ debe ser diferente de $f_2$ para que cumpla la igualdad
E5Y	Si, el enunciado indica que el pulso es emitido al mismo tiempo, aunque con amplitudes diferentes. La figura sugiere que la tensión $T_2 > T_1$
E1C	No se, no se conoce cuál es la Tensión, ni la densidad lineal por ello no manejamos datos suficientes para indicar que un pulso se genere primero que otro. ( <i>pareciera asociar el tiempo que dura el movimiento de la mano con propiedades del medio</i> ) La velocidad no depende del tiempo en subir y bajar, este tiempo afecta la partida de la onda.

De los resultados de este cuestionario se puede concluir que en cuanto al dominio teórico, los estudiantes: i) han fortalecido el esquema relacionado con la dependencia entre la velocidad de propagación de los pulsos y las propiedades del medio (categoría L); y ii) han descartado para estas situaciones, el esquema que asocia la frecuencia de la fuente con la velocidad de propagación del pulso (Categoría J), incluso algunos estudiantes, lo mencionan explícitamente. Sin embargo, con excepción del estudiante E4J, quien emplea el esquema categoría L', los demás estudiantes evidencian dificultades al trabajar con múltiples variables interdependientes, lo que influye en su comprensión del significado de la relación  $\lambda: g(v, f)$ , aceptada en la comunidad científica.

### **8.6.3 Evolución en el Desarrollo Conceptual, dominio teórico y dominio metodológico: Comparación entre el Estado Inicial y el Estado Final**

Tal como se indicó al comienzo, una intención de este trabajo es evidenciar el cambio y evolución en las conceptualizaciones de los estudiantes tanto en el dominio conceptual como en el dominio metodológico debido a la intervención realizada. Para dar cuenta de ello, se presenta a continuación la contrastación entre el Estado inicial (Momento de Investigación I y estudio piloto) y el Estado final del desarrollo conceptual, tanto en el dominio teórico como en el dominio metodológico.

#### **8.6.3.1 Dominio teórico**

Durante el ensayo se abordaron diversas situaciones-problema asociadas con la naturaleza de las ondas mecánicas propagándose en medios no dispersivos, y la dependencia entre la velocidad de las ondas y otras variables asociadas a las propiedades del medio. En tal sentido, del análisis de las respuestas de los estudiantes en diferentes momentos del estudio se estableció una serie de categorías de esquemas (ver leyenda Cuadro 8-21) que pueden ser separadas en tres grupos: uno, esquemas cuyos IO se corresponden con conceptos y teorías aceptadas en la ciencia (A B, E, F, L, L'); otro, esquemas que corresponden a ideas (D, H, I, J, K) no afines con las aceptadas en la ciencia; y un tercer grupo, esquemas que si bien emplean términos de la ciencia, éstos parecen ser usados por el estudiante, en forma no significativa (G).

Los resultados de las conceptualizaciones de los cinco estudiantes en diferentes momentos del estudio, son sintetizados en el Cuadro 8-21. En general, se puede destacar un desarrollo significativo en sus esquemas. Esta afirmación se fundamenta en:

a) En el estado inicial todos los estudiantes activaron una diversidad de esquemas específicos, es decir, fuertemente dependiente de las características de la situación planteada. Además, desde la perspectiva de la ciencia, algunos de los esquemas no se corresponden con modelos físicos aceptados.

b) Con el trabajo del tutorial (simulación guiada), que se ha tomado como un estado medio de aprendizaje, se observa que los esquemas de dos estudiantes (E2L y E5Y) evolucionan sus esquemas hacia los modelos aceptados por la ciencia, además, logran iniciarse en el uso de diferentes formas de representación de los conceptos (pictórico y gráfico). Mientras que la estudiante E2H responde de forma automática, haciendo uso de los términos científicos pero sin evidencias de haber desarrollado su significado ya que no logra producir argumentaciones en sus respuestas; y el estudiante E4J mantiene sus esquemas iniciales. Por último, se destaca que el estudiante E1C no logró expresar conclusiones en ninguna de la situaciones presentadas en los tutoriales.

c) El estado final muestra (Cuadro 8-21) que las conceptualizaciones referidas al dominio teórico, de tres de los estudiantes (E2L, E4J y E5Y) se corresponden con los modelos que se esperaba que aprendieran, ratificándolo en las dos producciones finales (reporte final y cuestionario). Mientras que la estudiante E2H aunque restringe el número de esquemas activados y emplea esquemas que son consistentes con modelos aceptados por la ciencia, no logra comunicar sus razonamientos, por lo que no da muestras de que sus ideas hayan alcanzado el significado esperado; y el estudiante E1C en el reporte final pone de manifiesto la activación de esquemas cónsonos con lo que se esperaba aprendieran, pero luego frente al cuestionario final en algunas situaciones evidenció la activación de esquemas que no parecen tener un significado claro (Categoría G).

**Cuadro 8-21.** Conceptualizaciones en el dominio teórico de los cinco estudiantes (E6L, E2H, E4J, E1C, E5Y), identificadas en diferentes momentos durante el desarrollo del TL. (Estado inicial: Momento I; Estado medio: Después de tutorial; Estado final 1: Reporte Final; Estado final 2: Cuestionario final)

Momento	Categoría de Esquema											
	A	B*	E*	F*	G	D*	H	I	J	K	L	L'
	<i>Afin</i>	<i>con</i>	<i>la</i>	<i>física</i>		<i>No</i>	<i>afin</i>	<i>con</i>	<i>la</i>	<i>física</i>	<i>Afin</i>	<i>física</i>
<b>Estado inicial</b>	E6L	E6L	E6L			E6L			E6L			
	E2H		E2H		E2H				E2H			
			E4J						E4J			
			E1C						E1C	E1C		
	E5Y		E5Y	E5Y	E5Y			E5Y	E5Y			
<b>Estado medio</b>	E6L				E6L						E6L	
	E2H				E2H							
	E4J						E4J		E4J			
	E5Y										E5Y	
<b>Estado Final 1</b>	E6L										E6L	
	E2H				E2H							
	E4J										E4J	
	E1C										E1C	
	E5Y										E5Y	
<b>Estado Final 2</b>											E6L	
					E2H							
												E4J
					E1C							
											E5Y	

\* Categorías asociadas a las situaciones del diagnóstico inicial.

Leyenda:

- A. Reconocen las características de las ondas en la situación y la describen:
- B. Reconocen que la situación se trata solo de una analogía pictórica.
- E. Reconocen la situación, asociándola a un esquema consistente con el de la ciencia:
- F. Reconocen la situación (oscilación) discriminándola con otra (onda), señalando que sólo hay semejanza pictórica entre la gráfica del modelo de la primera con la representación de la segunda
- G: Emplea términos de la ciencia sin argumentaciones, como autoridad acrítica que válida la respuesta
- D. Asocian el movimiento de sube y baja de las personas con el de las partículas del medio, sin considerar la existencia de ligaduras entre estas últimas.
- H. Asocian la rapidez de las partículas del medio con la rapidez de la onda
- I. Reconocen la situación como una colisión
- J. Relacionan la velocidad de la onda con otras variables distintas a las que caracterizan el medi donde se propaga.
- K. Consideran que la interferencia entre las ondas una vez que ocurre, es permanente.
- L: Asocia la velocidad de la onda a las propiedades del medio; reconoce la no dependencia entre la frecuencia de la fuente y la velocidad de la onda.
- L': Emplea las relaciones anteriores de manera integrada, manejando múltiples variables interdependientes.

### 8.6.3.2 Dominio metodológico

El cambio en el desarrollo conceptual referido al dominio metodológico que se activó para la resolución de las situaciones-problema en el laboratorio, asociadas con la naturaleza de las ondas mecánicas propagándose en medios no dispersivos, y la dependencia entre la velocidad de las ondas y otras variables asociadas a las propiedades del medio, ha sido evaluado mediante la contrastación del estado inicial que se identificó con el estudio piloto (Capítulo 7), y el estado final que se evidenció con los reportes finales (Cuadro 8-15).

Los resultados de estos dos momentos se sintetizan por cada estudiante, en el Cuadro 8-22. Se puede observar que los estudiantes E6L, E4J y E5Y 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, el estudiante E1C dio muestras de mayor desarrollo conceptual ante las tareas de: el *procesamiento y la transformación* de los datos, las que ahora los concibe como tareas a resolver, activando esquemas para su abordaje; el *análisis conceptual* es empleado para guiar el proceso de transformación de datos y la *producción de conclusiones*; y éstas últimas, las genera en atención a los resultados obtenidos (Cuadro 8-22).

Por último, se tiene que la estudiante E2H, al igual que lo obtenido en el dominio teórico, su evolución en el dominio metodológico es considerado bajo, ya que sólo se observaron cambios en cuanto a las concepciones demandadas por la tarea de diseñar el experimento, mostrando en el reporte presentado después del ensayo que lograba discriminar las variables relevantes en los experimentos propuestos.

**Cuadro 8-22.** Conceptualizaciones en el dominio metodológico de los cinco estudiantes (E6L, E2H, E4J, E1C, E5Y) (Estado inicial: Estudio Piloto, previo al TL del ensayo; Estado final: Reporte Final)

		Categorías de Esquema																
		1	2*	3*	4	5*	6	7	8*	9*	10	11*	12*	13*	14	15	16*	
		Análisis Conceptual			Diseño		Medición				PTA	P	T	A	Conclusiones			
Estado Inicial		E6L	E6L		E6L		E6L	E6L				E6L	E6L	E6L			E6L	
		E5Y	E5Y		E5Y		E5Y	E5Y				E5Y	E5Y	E5Y		E5Y		
Estado Final		E4J	E4J		E4J		E4J	E4J				E4J	E4J	E4J			E4J	
		E2H	E2H		E2H		E2H	E2H				E2H			E2H			
	E1C				E1C		E1C	E1C			E1C				E1C			

\* Esquemas esperados desde la perspectiva de la ciencia.

Leyenda:

*Análisis conceptual (AC)*

1. El problema del TL se refiere a un dominio teórico que debe ser conocido y resumido en forma escrita.
2. El problema del TL se enmarca en un dominio teórico del cual se pueden derivar preguntas, hipótesis y predicciones
3. El problema del TL se enmarca en un dominio 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 como cambia la VI en función de la VD.

*Procesar (P), transformar (T) e interpretar(A) datos vistas 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 ratificar su fiabilidad, se hace considerando el conjunto de datos y los resultados esperados, con miras 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

Como resumen de los resultados se tiene que:

a) El trabajo con tutoriales (simulaciones guiadas) promovió algún cambio favorable en el desarrollo conceptual de dos estudiantes en cuanto al dominio teórico.

b) El desarrollo del TL orientado por el modelo MATLaF y siguiendo la secuencia del plan general, promovió cambios significativos en el dominio teórico y en el dominio metodológico de tres de los cinco estudiantes. Mientras que en los otros dos estudiantes no tuvo el impacto esperado en su desarrollo conceptual, en menor grado en uno que en otro; además, se observa en estos dos estudiantes dificultades para argumentar y comunicar sus ideas en forma escrita.

## **8.7 RESULTADOS DEL MOMENTO DE INVESTIGACIÓN IV: REFLEXIÓN ACERCA DE LOS LOGROS ALCANZADOS CON EL ENSAYO**

La sección anterior presenta los aprendizajes de los estudiantes en atención a sus producciones escritas, sin embargo, en el marco de referencia de este trabajo, la toma de conciencia por parte del estudiante, acerca del aprendizaje alcanzado es importante. En tal sentido, siguiendo el modelo MATLaF, después de la entrega y presentación del reporte final, a los estudiantes se les solicitó que expresaran por escrito sus reflexiones acerca de los logros que en su opinión, habían alcanzados con el TL que recién culminaban. Adicionalmente, al finalizar el curso de laboratorio los estudiantes fueron entrevistados de manera individual, con el fin de conocer su visión acerca del trabajo realizado y sus aprendizajes.

Un aspecto relevante de este ensayo es estudiar la evolución que manifiestan los estudiantes en el dominio epistemológico, lo cual fue extraído de la información recabada en las reflexiones escritas y las entrevistas, con el complemento de los reportes finales.

### **8.7.1 Reflexiones escritas acerca de sus aprendizajes**

En esta oportunidad, la única indicación que se les dio a los estudiantes fue que tomarán en cuenta las metas de aprendizaje esperadas del TL, las cuales estuvieron explícitas desde el inicio, y que pensarán acerca de todo el proceso desarrollado. La presentación de las reflexiones era voluntario, por lo que sólo se cuenta con el escrito de tres de los cinco estudiantes, de los cuales, según los resultados presentados en la

sección anterior, dos estudiantes (E6L y E4J) tuvieron un cambio significativo en su desarrollo conceptual, y el tercero (E1C) mostró menor evolución en sus esquemas.

Las reflexiones escritas de los tres estudiantes (Anexo 8-D) fueron procesadas como las entrevistas colectivas, es decir, los escritos se separaron en unidades de análisis, UA, las cuales se enumeraron en forma seriada según su aparición. En atención al contenido de las diferentes UA se establecieron cuatro grupos: 1. Aprendizaje global o específico; 2. Descripción del proceso cognitivo; 3. Descripción del proceso del TL; y 4. Valoración o crítica. A continuación se exponen los resultados por cada una de las cuatro clases incluyendo por estudiante, las UA correspondientes a cada categoría<sup>11</sup>.

### *1. Aprendizaje global o específico.*

En relación con el aprendizaje que cada estudiante considera haber alcanzado encontramos diferentes niveles de especificación. Para el estudiante E6L lo fundamental fue lograr la interpretación de los fenómenos (UA1 y 7) mediante la contratación de los modelos y los resultados experimentales (UA2 en procesos cognitivos). En segundo término ubica los aprendizajes relacionados con tareas propiamente experimentales como el manejo de los programas de computación y los procedimientos de medición.

El estudiante E4J consideró como un aprendizaje novedoso lo relativo a las mediciones en el computador con el programa Videopoint (UA3), pero el mayor reto alcanzado fue el relacionado con el análisis de los datos y la producción de conclusiones (UA 5 y 9), ante lo cual logra describir cuál era la meta y cómo lo logró.

Por su parte, el estudiante E1C cita los aprendizajes relacionados con el manejo del programa de cálculo para el procesamiento y transformación de los datos (UA 9). Cabe destacar que este estudiante en su reporte final anexo un diskette con los archivos separados por preguntas, con todos los datos organizados, procesados y transformados en el Excel; además, cada uno contenía descripciones, comentarios y análisis expresados en forma verbal con bastante claridad y coherencia. Siguiendo con los aprendizajes que E1C consideró haber alcanzado, se tiene que él señala haber logrado un aprendizaje “más significativo” sobre el tema, juicio que emite por comparación con lo que aprendió en cursos previos de teoría donde abordaron el mismo tema. Además, estima que la contrastación teoría-práctica le resultó beneficiosa para la construcción de sus conocimientos (UA, 11 y 12)

---

<sup>11</sup> Algunos textos se subrayaron para destacar el contenido de interés para la categoría que se presenta.

E6L

UA 1. Los aprendizajes que logré estuvieron en la dirección de lo fenomenológico, es decir, en la interpretación del hecho físico en sí.

UA 6. En relación con los demás procedimientos experimentales, la utilización de Videopoint fue una herramienta de gran utilidad, y el aprendizaje de como utilizar éste fue una excelente oportunidad para incursionar un poco más en el universo de la tecnología, además, brindó la oportunidad de conocer otras maneras de medir que no necesariamente son reglas, cronómetros u otros objetos, lo cual se traduce en la innovación de las estrategias de enseñanza de la Física.

UA 7. En síntesis, considero que dentro de un amplio espectro, los aprendizajes se lograron, sobre todo los relacionados con la interpretación física de la fenomenología del evento y con el cómo registrar el evento de manera tal que los datos que se obtengan, sean capaces de reproducir el hecho físico y de esta manera estudiar las relaciones entra las variables que se involucran en el fenómeno.

E4J

UA 3. Tomamos las medidas a través de situaciones filmadas para analizar esas películas en un programa para computadoras llamado VideoPoint, al principio pensé que tomar los datos iba a ser complicadísimo pero fue de lo más sencillo.

UA 5. Al llegar el momento de hacer los análisis de los datos fue lo más complicado, ahora tenía que comparar los resultados obtenidos con los resultados teóricos calculados previos al experimento. Los resultados experimentales no estaban lejos de los teóricos.

UA 9. Lo que se me ocurrió hacer fue tomar las preguntas y responderlas con los análisis y si el objetivo del estudio era responder las preguntas planteadas entonces ya estaba resuelto el problema, a excepción de una pregunta que no pude responder ya que con las medidas tomadas y sus transformaciones no se pudo responder a la relación entre  $\lambda$  y velocidad de la onda.

E1C

UA 9. Cabe mencionar que para extraer los datos del computador y organizarlos de forma tal que permitieran el estudio del fenómeno, había que ponerse en sintonía con las operaciones necesarias que facilitaban la extracción de datos, lo cual nos obligaba a ampliar los conocimientos informáticos para llevar a cabo nuestra labor de investigación o estudio.

UA 11. Desde esta perspectiva se aprecia entonces que a diferencia de antes (*se refiere a las cursos de teoría*) el nuevo proceso de enseñanza se orienta por dos caminos que integran la formación y comprensión en un estudio mas significativo del proceso de instrucción. El hecho de hacer contrastar la teoría con la practica nos conduce hacia una interpretación y descripción verdadera y consciente de los fenómenos.

UA 12. Puede apreciarse entonces cómo la actividad experimental rescata la teoría fortaleciéndola y aumentándola para beneficio de la construcción de conocimientos.

## 2. Descripción del proceso cognitivo.

En el conjunto de reflexiones se encontraron algunos textos donde describían algunos procesos de orden cognitivo realizados durante el TL, incluso en algunos casos los exponían para explicar cómo habían logrado el aprendizaje. Así tenemos que el estudiante E6L explica que su aprendizaje más importante (UA1: interpretar los fenómenos ondulatorios) ocurre mediante dos procesos cognitivos: *crear constructos mentales* y *cuestionar ideas teóricas, con evidencias empíricas y percepciones*, como lo muestra la UA2. De igual forma el estudiante E4J, aunque no precisa el proceso cognitivo y sólo se refiere a: “pensar”, “ver”, “ocurrir” (UA 2, 6 y 9), discrimina entre estos

procesos mentales y los aprendizajes (producir conclusiones, UA9) o acciones externas (hacer gráficos, UA6).

El estudiante E1C no expone nada acerca del proceso de aprendizaje, lo cual puede ser un indicador de que tiene menor grado de conciencia o no logra generar una representación externa de ello.

E6L

UA 2. Para esto tuve que crear constructos mentales en los que se viese al mismo tiempo los planteamientos teóricos y los resultados experimentales, esto con el fin esencial de “cuestionar” ambos planteamientos y hasta la posición ... de mi percepción; esto es para lograr una mejor interpretación de los conocimientos tanto experimentales como teóricos.

E4J

UA 2. .... me hizo pensar en todos los factores que podían intervenir en nuestra medición y eso me hacía interesarme más en el estudio.

UA 6. Aquí se hicieron muchas consideraciones siempre estuve pensando en el modelo teórico, cada gráfico que hacía lo veía y lo veía, pensando en lo que debería darme (o sea algo parecido al modelo).

UA 9. Lo que se me ocurrió hacer fue tomar las preguntas y responderlas con los análisis y si el objetivo del estudio era responder las preguntas planteadas entonces ya estaba resuelto el problema, a excepción de una pregunta que no pude responder ya que con las medidas tomadas y sus transformaciones no se pudo responder a la relación entre  $\lambda$  y velocidad de la onda.

E1C No hay

### *3. Descripción del proceso del TL.*

Un sólo estudiante, E1C, describió con detalle toda la secuencia de trabajo desarrollado durante el TL, lo cual pone en evidencia que estas tareas resultaron ser relevantes y con significado para él. Al comparar estas descripciones con lo observado en el reporte final encontramos que en algunos casos hay correspondencia, como por ejemplo, en sus reflexiones E1C dice que “estudió la teoría” (UA4) y en el análisis conceptual que presentó en el reporte había un resumen del tema sobre el cual trataba el TL, lo cual representa ser el producto natural de la tarea descrita en las reflexiones. Pero en otros casos no hay correspondencia, como por ejemplo, en la descripción de los experimentos en el reporte se limitó a señalar qué variables estudiaría en cada experimento y cómo medirlas sin conexión explícita con las preguntas o el análisis conceptual, mientras que en las reflexiones parece tener claridad en la relación entre las relaciones que se quiere estudiar y las preguntas que se plantean, y en cómo el diseño experimental está en función de lo anterior (UA 4, 5 y 6).

E6L y E4J No hay

E1C

- UA 3. Comenzamos nuestro estudio sobre los fenómenos ondulatorios de forma experimental con un fenómeno clásico, estudiar el comportamiento de un pulso ondulatorio que se mueve a lo largo de un resorte que tiene sus dos extremos fijos en el cual se genera un pulso que viaja en el tiempo.
- UA 4. Antes de la filmación de la película estudiábamos un poco la teoría del movimiento ondulatorio y discutíamos algunos fenómenos, entre ellos el comportamiento del muelle y determinamos su posible comportamiento así como también la relación entre las variables que describían su comportamiento.
- UA 5. Luego de haber analizado la relación entre las variables planteábamos las preguntas experimentales en relación a ellas,
- UA 6. .... para estudiarlas (*se refiere a las preguntas*) con el montaje experimental. Procedíamos al diseño del montaje experimental que nos permitiría realizar nuestro estudio. Se establecía el montaje mas sencillo para no complicar el estudio del fenómeno.
- UA 7. Tal fenómeno fue estudiado capturando el comportamiento del pulso con una filmadora. La película grabada era vaciada en el computador y mediante un programa era capturada por cuadros.
- UA 8. Luego, a través del computador y la observación de la película en la pantalla se podían extraer resultados experimentales de posición y velocidad-tiempo para hacer análisis del comportamiento del resorte y poder profundizar en el estudio y comprensión de los fenómenos ondulatorios.
- UA 10. Luego de extraer y operar con los datos experimentales se hace una comparación de resultados experimentales con resultados teóricos para contrastar la teoría con la practica y la validez y confiabilidad de resultados obtenidos.

#### 4. Valoración o crítica.

Resulta significativo para este trabajo la valoración y crítica que de manera espontánea, los tres estudiantes expresaron en relación al TL. Al respecto se tiene que la forma en cómo se desarrolló el TL fue considerado por los tres estudiantes como importante para promover el aprendizaje y propiciar disposición para ello (E6L:UA 3, 4 y 6; E4J: UA2 ; E1C: UA11 ). Por otra parte, manifestaron que esta forma de realizar el TL (tener que formular las preguntas, diseñar el experimento, relacionar la teoría con los fenómenos) representa una ruptura con la forma como hasta ese momento habían trabajado en otros cursos de laboratorio, en el sentido de que resulta ser más interesante y divertido, menos tedioso o más significativo.

Hay que destacar que el estudiante E6L hace una crítica de orden epistemológica (UA 4) alertando acerca del riesgo que se corre con la posible sobrevaloración de lo teórico en el TL, aspecto éste que ha sido cuestionado por diversos autores, considerándolo como una debilidad de los TL centrados en la comprobación de leyes (Hodson, 1998; Duschl, 2000;). Sin embargo, de la UA5 se deduce que para el estudiante E6L, este TL no está en ese caso: “el experimento dejó de ser -a mi modo de ver las cosas- un ente presto únicamente a la comprobación de los resultados teóricos;....”.

También, resulta relevante observar que el estudiante E6L valora lo aprendido en el desarrollo de competencias profesionales (docente de física), cuando señala que: “la

utilización de Videopoint fue una herramienta de gran utilidad, y el aprendizaje de cómo utilizarlo ..... se traduce en la innovación de las estrategias de enseñanza de la Física” (UA6).

Por último, el estudiante E4J considera como valioso los aprendizajes alcanzados en relación con tareas que consideraba difíciles o complicadas (UA 3, 5 y 8), lo cual es consistente con los planteamientos vigoskianos dentro de la teoría de campos conceptuales, en cuanto a que las situaciones novedosas que se les presenten a los estudiante se encuentren dentro de la zona de desarrollo próximo del estudiante para lograr retarlos y promover su disposición para el aprendizaje (Vygostky, 1995).

E6L

UA 3. La contrastación .... fue fundamental para la formulación de las posibles respuestas a las situaciones, además de ser un rico incentivo en la reproducción del conocimiento en el campo de las ondas.

UA 4. En cuanto a los razonamientos estos fueron guiados, esencialmente, por lo planteado en la teoría, cuestión que desde un punto de vista presenta gran utilidad, ya que el conjunto de ideas que se puedan tener están respaldadas, pero desde otra visión considero que para el trabajo experimental la sobrevaloración de lo teórico puede enmarcar el pensamiento hacia una posible respuesta que “debe encontrarse en algún lugar” o que lleve al experimentador a pensar que “la teoría esta bien, el experimento esta mal”; sin considerar otros aspectos de las mismas.

UA 5. La formulación de las preguntas experimentales, fue una ruptura a la tediosa concepción del laboratorio tradicional, ya que la construcción de los experimentos se realizó en función de las mismas, con lo cual el experimento dejo de ser -a mi modo de ver las cosas- un ente presto únicamente a la comprobación de los resultados teóricos; sino una herramienta presta a la confrontación de las ideas previas nacidas de la teoría.

UA 6. En relación con los demás procedimientos experimentales, la utilización de Videopoint fue una herramienta de gran utilidad, y el aprendizaje de cómo utilizar éste fue una excelente oportunidad para incursionar un poco más en el universo de la tecnología, además, brindó la oportunidad de conocer otras maneras de medir que no necesariamente son reglas, cronómetros u otros objetos, lo cual se traduce en la innovación de las estrategias de enseñanza de la Física.

E4J

UA 1. Con este trabajo de laboratorio me divertí muchísimo, el haber salido del aula a hacer la experiencia en un espacio abierto del IPC y buscado por nosotros mismos fue muy chévere,

UA 2. .... me hizo pensar en todos los factores que podían intervenir en nuestra medición y eso me hacía interesarme más en el estudio.

UA 3. Tomamos las medidas a través de situaciones filmadas para analizar esas películas en un programa para computadoras llamado VideoPoint, al principio pensé que tomar los datos iba a ser complicadísimo pero fue de lo más sencillo.

UA 4. Con respecto al análisis, como ya sabíamos utilizar el Excel entonces fue fácil hacer las transformaciones, haciendo gráficos, cálculos de errores, promedios, desviaciones estándar, calculando las magnitudes con expresiones extraídas de la revisión bibliográfica en fin hasta aquí todo era muy divertido.

UA 5. Al llegar el momento de hacer los análisis de los datos fue lo más complicado, ahora tenía que comparar los resultados obtenidos con los resultados teóricos calculados previos al experimento. Los resultados experimentales no estaban lejos de los teóricos.

UA 8. Y llegó el momento de hacer conclusiones y yo soy pésimo haciéndolas. (mas adelante señala cómo lo logró)

UA 2. En los cursos anteriores había recibido por parte de los profesores una introducción básica sobre el comportamiento de fenómenos ondulatorios, esta introducción fue explicada con la descripción de fenómenos sencillo, pero aunque los fenómenos eran sencillos su interpretación no se captaba en su totalidad debido a que se nos instruía de forma teórica en todas las clases y no se nos orientaba hacia la comprobación de resultados experimentales. De esta forma, sin la observación del fenómeno directamente y sin la manipulación o reproducción de fenómenos que describan el modelo se torna mucho mas complicado su estudio lo cual no facilita su comprensión, haciéndola menos significativa en su aprendizaje.

UA 11. Desde esta perspectiva se aprecia entonces que a diferencia de antes (se refiere a las cursos de teoría) el nuevo proceso de enseñanza se orienta por dos caminos que integran la formación y comprensión en un estudio mas significativo del proceso de instrucción. El hecho de hacer contrastar la teoría con la practica nos conduce hacia una interpretación y descripción verdadera y consciente de los fenómenos.

De estas reflexiones se puede ver que los estudiantes E6L y E4J con mayor desarrollo conceptual según sus producciones finales, lograron ser específicos en la descripción de lo que consideraron haber aprendido con este TL; además, los aprendizajes que señalan haber alcanzado se corresponden con los identificados en las producciones finales.

En el caso del estudiante EIC, sus reflexiones dan cuenta de un aprendizaje mayor que el se puede derivar del reporte final, tal parece que el estudiante tuvo dificultades para explicitar de forma organizada el TL, un aspecto incluido en el plan general de acción como fase V: la comunicación de resultados.

La estrategia desarrollada para ejecutar el TL y la mediación realizada por el docente siguiendo el modelo MATLaF resultó en opinión de los estudiantes beneficiosa para su aprendizaje y para promover el interés y la disposición hacia éste.

### **8.7.2 Resultados de la Entrevista Final**

En los estudios cualitativos se considera importante y necesario recolectar la opinión de los participantes en cuanto a aspectos relevantes para el estudio, con lo cual se complementa y válida la información obtenida por otros medios. En el ensayo que se reporta, se culminó la recolección de información mediante una entrevista individual, que se efectuó después de haber cerrado la evaluación del curso de laboratorio. Hay que señalar que este curso incluyó un tercer TL desarrollado con el mismo enfoque que tuvo una duración de tres semanas (15 horas de clase).

Para las entrevistas se elaboró un guión general (Anexo 8-E), sin embargo, en función de las respuestas de los entrevistados, a veces era necesario replantear las

preguntas o incorporar nuevas preguntas. La entrevista buscaba información acerca de los siguientes aspectos específicos:

- Interrelación entre lo teórico y lo metodológico.
- Concepción de diseño experimental
- Concepción de los errores.
- Aprendizajes logrados
- Valor del plan general representado en la V de Gowin para el TL.
- Comparación de este curso con los cursos de laboratorio realizados anteriormente.

Los protocolos transcritos de las entrevistas (Anexo 8-F), fueron clasificados y analizados según estos seis aspectos. Los resultados se presentan a continuación.

#### *1. Interrelación entre lo teórico y lo metodológico.*

Las respuestas de los entrevistados evidencian que los estudiantes han tomado conciencia de la interrelación que existe entre teoría y práctica, modelo y resultados, aunque con diferente grado. En general, ellos reconocen esta interrelación en los diferentes momentos del proceso del TL: modelo-diseño, modelo-procesamiento y análisis de datos, modelo-conclusiones, en el sentido de que ante la resolución de un problema experimental con un sistema real busque el modelo más apropiado y en caso de no haber adecuación revise el cumplimiento de los supuestos del modelo, la presencia de fuentes de errores sistemáticos, otros y busque las causas de las posibles discrepancias.

Sin embargo, la estudiante E2H, parece que valora el modelo físico, en el sentido de considerarlo como el valor verdadero, y asume que cualquier discrepancia entre lo teórico y lo empírico implica fallas o debilidades en el experimento que debden ser superadas.

Por otra parte, la estudiante E5Y parece que considera al modelo como un referente que no se cuestiona, estatus éste que resulta de experimentaciones previas, tal como lo expresa en: “el modelo fue construido de manera muy controlada con muchas experiencias y datos;..... uno veía el modelo e intentaba pensar similar a como pensaban cuando lo construyeron” (E5Y). En cambio, los estudiantes E6L y E4J consideran al modelo como algo tentativo, que puede evolucionar en atención a los resultados experimentales, y viceversa:

E6L: la teoría me da nociones e ideas con las cuales voy a abordar en primera línea el problema y luego esas ideas las voy madurando, evolucionando para mejorar el MT y el resultado experimental; cuando este seguro de la discrepancia debo tomar la decisión de: este modelo teórico no me explica o este experimento tiene problemas.

E4J: .... cuando hay discrepancias puede que está sucediendo un fenómeno que no estamos tomando en cuenta en el modelo;....

Esta noción ya había sido expresada por el estudiante E6L en las reflexiones que escribió al finalizar el ensayo (ver UA:4 y 5, pag.10- (80-81))

Si comparamos con el estado inicial de los estudiantes, donde estos dos aspectos estaban presentes pero sin una conexión explícita (capítulo 7); se puede afirmar que ha habido una evolución en la significación que los estudiantes le dan a la interrelación teoría-práctica, ratificada también con los reportes finales donde se observó que los estudiantes lograban establecer y expresar esta relación (Cuadro 8-22).

Unidades de análisis extraídas de los protocolos transcritos de los estudiantes del ensayo, correspondientes a la interrelación teoría-práctica.

E2H *Modelo-TL*. Para el trabajo experimental debemos tener alguna orientación del modelo teórico para poder hacer la relación entre los resultados.

E2H *¿Un físico qué hace frente a un fenómeno no conocido?* Yo me imagino que haría varias veces el experimento a ver si coinciden los resultados y compararía con los de otros físicos si no puede constatarlos con un MT. Debería construir un modelo teórico, un físico de los que hacen libros, que es un investigador.

E2H. *Modelo-análisis de datos*. Si, nosotros usamos el modelo teórico, tenemos unas preguntas, todo eso tiene que ser coherente con lo que estamos haciendo, cuando al final hacemos el análisis obtenemos los resultados, debemos constatar o darnos cuenta que sí se obtuvo lo que esperábamos, de acuerdo con el MT, porque en el modelo teórico aparte de que revisamos libros, teoría; vamos construyendo las hipótesis de acuerdo a las preguntas del experimento y eso era la que queríamos, vamos haciendo el experimento, los análisis, los resultados obtenidos deberían ser los esperados de acuerdo al MT.

Había que constatar los datos teóricos con los experimentales, y había que hacer un grafico unido, de esta forma estamos empleando el MT y los datos experimentales para hacer la conexión

E2H. *El diseño esta mal...* Cuando hacemos el contraste con el modelo teórico, pues ya tenemos una visión de cómo tiene que ser el resultado, por Ej. en el caso de la velocidad del sonido en el aire ya sabían cuanto era, así que mas o menos tenía que darnos aproximadamente eso.

E6L. *Modelo teórico-TL*. Yo creo que es fundamental, pues aun cuando muchas veces no nos da todo lo que es el abre boca de lo que son las respuestas experimentales nos da un abanico de ideas, lo que podemos resolver o encontrar, como lo vimos aquí..... la Teoría me da nociones e ideas con las cuales voy a abordar en primera línea el problema y luego esas ideas las voy madurando, evolucionando para mejorar el MT y el resultado experimental. El MT Es fundamental

E6L. *Preguntas –diseño*. Bien, allí la cuestión sería, la pregunta debería responder a alguna inquietud y ellas deberían darme el piso para hacer la construcción que necesito y hacer el experimento, para así demostrar, verificar o descubrir alguna ley física. La pregunta es cómo debo hacer el modelo y cómo debo trabajar ese modelo, igualmente como debo trabajar la teoría. Siempre la pregunta va a apuntando a responder cosas o demostrar cosas, el experimento apunta hacia eso, y el modelo también, entonces las tres cosas se unen para responder las preguntas.

E6L. *Análisis-Modelo*. Debería usarse el MT para comparar, por ej. yo trate en esas tendencias de comparar el modelo teórico y el experimental, y para emitir las conclusiones, porque para eso esta ahí, pues no tiene sentido tener un montón de teoría que no se utilizará. “Descartando tal cosa esto no sucedió por tal cosa o por lo otro”. Es muy necesario para lograr explicaciones.

E6L. *Las decisiones en cuanto al proceso de análisis eran...* En mi *guiadas por* la curiosidad, pero alimentada por como se comporta la física en ese campo, “déjame ver como se acomodan esos datos para ver tal cosa”, según el MT y lo leído.

E6L. *No es al libre albedrío* Tal vez al principio, pero al ver la curiosidad ya se elimina, pues quiero ver como se comportan, entonces tengo que trabajarlos para ver que puedo obtener de ellos, eso ya es otra cosa.

E5Y. *Modelo-TL.* Yo lo veo como una forma de tener un fundamento, saber a donde llegar, que contrastar, pues si no tengo un modelo no sabría de donde partir, es como *al azar*.

E5Y. *Fenómeno novedoso...* Habría que producir un modelo, lo que se supone que debería de ser, se harían experiencias para encontrar un patrón y se construiría un modelo. Uno puede tener una hipótesis, pero eso no es el modelo, después de las experiencias y contrastar con otras personas.

E5Y. *Modelo y preguntas...* En el primer trabajo no las tome en cuenta, y después me di cuenta que cuando nos enfocamos en las preguntas no me perdía en el camino, ya sabía hacia donde tenía ir, cuando se planteaban las preguntas yo sabía adonde quería llegar, si me desviaba lo que hacia era ver las preguntas y en función de ellas buscaba de la teoría que cosas me servían para responderlas y que cosas experimentales se podían montar fundamentadas en el MT para responder a las preguntas. En el primer lab no las tome en serio y después me di cuenta de porque no me funcionaba como yo quería. Pero en el 2do y en el 3ro me ayudaron mucho.

E5Y. *Modelo-diseño.* Es que prácticamente uno veía el modelo e intentaba pensar similar a como pensaban cuando lo construyeron y atendiendo a lo que se le presentara, uno buscaba hacer el mismo experimento que pudieron haber realizado con todos los equipos, claro que con las limitaciones que uno tenía, pero manteniendo el enfoque.

E4J. *Modelo-TL* Lo importante de conseguir un MT, es que va a ser nuestra referencia, o sea en base a lo que tenemos, vamos a ir viendo si nos esta concordando con la teoría; es como una guía

E4J. *Fenómeno novedoso...* Es posible, aunque hay cosas que si pueden estar en la teoría hay otras que me imagino que no se han estudiado antes y uno puede incluir como algo innovador, lo que pasa es que siempre va a estar ligado a la que estamos trabajando.

E4J. *Modelo-diseño* Depende del MT, el diseño teórico eso es esencial, y ahí vemos que cálculos tenemos que hacer.

E4J. *Modelo-análisis.....* El ajuste *de tendencia* se hace guiado por lo que la teoría nos esta diciendo, por algunas ideas previa que tenemos acerca del fenómeno.

## 2. Concepción de diseño experimental

El grupo de estudiantes en el estudio piloto (Capítulo 7) evidenció tener dificultades en cuánto a la realización de la tarea de diseñar los experimentos. Con el análisis de los reportes finales de este ensayo se puede observar que hubo un avance al respecto, lo cual se confirma con las entrevistas. Se puede notar que todos los estudiantes establecen una dependencia entre las preguntas y el diseño que van a planificar y desarrollar, como lo muestran las siguientes expresiones:

E2H: Tiene que haber coherencia entre las preguntas y los procedimientos; ...Para el diseño tomo en cuenta las preguntas experimentales.

E6L: No creo que exista una receta general, tiene que ser adaptado al experimento, adaptado a lo que quiero, a la teoría.

E5Y: Las preguntas acotan el montaje experimental, pues no me sirve de nada montar algo si no ayudan a responder las pregunta.

E4J: El diseño experimental es para averiguar, es la investigación en si. Para responder a esas preguntas que uno se ha hecho.

Por otra parte, de sus reportes y de las entrevistas se puede decir que la tarea de diseño ahora es asumida como una situación a resolver y no como un procedimiento estándar. Esto implica que los estudiantes han construido y reconstruido IO nuevos con respecto al estudio piloto, con lo cual el significado de los conceptos asociados con la tarea de diseño de estos estudiantes se han ampliado. Tal como lo expresan las siguientes frases:

E5Y: *El diseño implica...* Las variables: independiente, dependiente, ah..., las controladas, si esto lo controlo, si puedo; si la variable es independiente la manipulo, ¿como?, si los aparatos cubren con la expectativa de lo que necesito medir. Yo hacia muchas tablitas, una tablita con la variables, una tablita con las cosas que no puedo controlar. Si la precisión del instrumento era apropiada con lo que quería medir.

E4J: Haría como un modelo, un montaje .... donde estuviesen todas las variables que necesito medir.... Medir variables en función de las preguntas que nos hemos planteado.... *Las variables intervinientes*...Uno debería tomarlas en cuenta para controlarlas y aproximarnos mas a lo que queremos, tratar de inmovilizarlas, tenerlas bien en cuenta que no nos vayan a estropear el experimento.

#### Unidades de análisis extraídas de los protocolos transcritos de los estudiantes del ensayo, correspondientes a la noción de diseño experimental.

E2H. Tiene que haber coherencia entre las preguntas y los procedimientos.  
E2H. Primero elaboramos las preguntas, de allí sacamos el diseño del experimento: ¿qué era lo que íbamos a hacer? ¿Qué íbamos a medir? Uno debió de tener las hipótesis y todo aquello que era necesario para las preguntas. Las preguntas las analice cuando estaba planteando las hipótesis. Para el diseño tomo en cuenta las preguntas experimentales. Pondría el procedimiento paso por paso. Contendría los materiales, el objetivo, lo que se espera, los análisis, conclusiones.

E6L. Bueno, primero busco los antecedentes, para ver en qué estoy, en segundo lugar ver qué teoría esta sustentado eso, tercero ver qué puedo mejorar en ese diseño, si el diseño es el correcto para eso.  
Ah, las hipótesis, el marco metodológico, para encontrar las variables, relacionar las variables como se comportan una con respecto a otra, el MT que me sustenta el experimento, los resultados y el análisis de las mismas y las conclusiones.  
*A veces* tengo un bosquejo del libro donde me dice: haga esto y esto, pero yo necesito incluir otras cosas. No creo que exista una receta general, tiene que ser adaptado al experimento, adaptado a lo que quiero, a la teoría.  
E6L. El experimento es muy necesario pues me va a permitir hacer predicciones futuras, siempre bajo las mismas condiciones, en esta situación o en la anterior, es a juro y por que si, que va a suceder algo muy parecido. es por eso que uno hace ciencia para hacer predicciones, es poder predecir, ... Además, también desde punto de vista Pedagógico tiene ese poder, la función de dar una imagen clara del trabajo científico, no es simplemente como se hace muchas veces, una teoría en un pizarrón, se escriben paginas de un libro de física, y se dice que se aprende.... El experimento no como demostración sino como instrucción en el manejo de la física.. Vamos a ver como se comporta el modelo, como se comporta el modelo experimental, vamos a comparar, para eso es el experimento para comparar esos resultados.

E5Y. Tenia las preguntas, pensaba qué cosas se podían montar para responderlas después veía si tenía los materiales para ese montaje, o si con ese montaje podía responder las preguntas auxiliares con las que podía responder a las preguntas principales. Las preguntas acotan el montaje experimental, pues no me sirve de nada montar algo si no ayudan a responder las preguntas.  
E5Y. *El diseño implica...* Las variables: independiente, dependiente, ah..., las controladas, si esto lo controlo, si puedo; si la variable es independiente la manipulo, ¿como?, si los aparatos cubren con la expectativa de lo que necesito medir. Yo hacia muchas tablitas, una tablita con la variables, una tablita con las cosas que no puedo controlar. Si la precisión del instrumento era apropiada con lo que quería medir.

E4J. El diseño experimental es para averiguar, es la investigación en si. Para responder a esas preguntas que uno se ha hecho y verificar la parte teórica.

Haría como un modelo, un montaje que respondería o donde estuviesen todas la variables que necesito medir. Por ej. cuando hicimos el primer lab. que fue el que mas nos costo, lo que metíamos era el instrumento, hacíamos un montaje que tuviese medidas las variables que veíamos que estaban dentro de la investigación. Aunque algunas veces algunos instrumentos no funciona para lo que queremos. Medir variables en función de las preguntas que nos hemos planteado.

E4J. *Las variables intervinientes*...Uno debería tomarlas en cuenta para controlarlas y aproximarnos mas a lo que queremos, tratar de inmovilizarlas, tenerlas bien en cuenta que no nos vayan a estropear el experimento.

### *3. Concepción de los errores, confiabilidad de los datos, de los resultados.*

Este grupo de estudiantes, si bien había estudiado el tema de errores en laboratorios anteriores, no tenía significado para ellos en el contexto del TL, ya que no fue considerado en el TL del estudio piloto (capítulo 7). En tal sentido, en el ensayo, este tópico fue parte de los aspectos en los cuales se intervino. Como se vio en los reportes finales, tres de los estudiantes lograron incorporar estos conceptos en el trabajo de organización y transformación de los datos, y tomarlo en cuenta en el momento del análisis y conclusiones (Cuadro 8-22).

Los resultados de la entrevista muestran que:

Para la estudiante E2H, los errores son un indicador de la calidad del procedimiento experimental, lo cual es relevante desde la física, pero hay que recordar que para esta estudiante, la teoría es considerado como el referente verdadero, por lo cual pareciera que la estudiante busca disminuir el error (por ej. hacer varias medidas) para acercarse a ese valor verdadero, sin tomar en cuenta aspectos fundamentales como los límites impuestos por la precisión del método de medición seleccionado, los que no pueden superarse por repetición de mediciones.

Por el contrario, el estudiante E6L, 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.

La estudiante E5Y ratifica su cambio en el significado de las conceptualizaciones relativas al tema de errores, si bien acepta que había estudiado el tema, no lo incorporaba al TL “Lo que pasa es que en los cursos anteriores la clase de calculo 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 procedimientos, cálculos u otros de los errores experimentales que dan idea de la precisión de las medidas.

Aún cuando, como se dijo antes, esta estudiante (E5Y) 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 estudiadas antes de descartarlas.

E5Y. Los *datos* que 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, el estudiante E4J muestra el uso del concepto de exactitud, y en consecuencia, el valor de los errores en el estudio de un fenómeno. Pareciera referirse a errores sistemáticos, aunque no lo expresa, y se refiere a fallas del que hace el experimento pero no en el sentido de equivocaciones, sino del grado de aproximación que tiene entre el modelo considerado y el fenómeno estudiado, ya que relaciona esto con posibles variables intervinientes no consideradas.

E4J. (*los errores son*) Para aproximarse más a la realidad, hay una cantidad de errores que al principio parece no tener mucha influencia en el fenómeno, pero después que vemos esos errores al final puede influir bastante en los resultados. Entonces es como si los resultados no se están aproximando mucho a la teoría; podemos ... ver en qué estamos fallando, y en eso pueden ser los errores.

E4J. Yo pensaría que hay unas variables intervinientes que no estamos tomando en cuenta. Hay que revisar el diseño hay que ver si él está acorde a lo que queremos medir, a lo que tenemos de referencia

Y en base a lo anterior, el estudiante E4J plantea dos posibles acciones, revisar el experimento para mejorar la precisión y exactitud, o revisar el modelo para incorporar las variables identificadas.

E4J. Si hacemos tres medidas y esta dando muy diferente es preferible hacer más para ver si entran en un margen aceptable. Y también cuando está dando poco aproximado al diseño teórico, entonces puede que el diseño experimental tenga algún error.

E4J. Si eso continúa, es que está sucediendo un fenómeno que no estamos tomando en cuenta en el modelo.

Los resultados de la entrevista muestran que los estudiantes evolucionaron en relación a las concepciones sobre errores en el marco de un TL, lo cual parece ser una consecuencia de haber hecho explícitos los IO que activaban los estudiantes sobre el tema, y de haberlos colocado ante situaciones en el contexto del TL que los llevará al uso de estas conceptualizaciones. Estos resultados son consistentes con lo observado en los reportes finales de los estudiantes (Cuadro 8-22).

Unidades de análisis extraídas de los protocolos transcritos de los estudiantes del ensayo, correspondientes a la noción de: error experimental, confiabilidad de los datos y de los resultados.

E2H. Con la propagación de los errores, los errores de las medidas podemos ver que lo estamos haciendo bien si esta preciso, si vamos por buen camino, constatando con el MT  
 E2H. Para confirmar que esta bien hecho el experimento debemos calcular los errores para saber que tan bien están las medidas  
 E2H. La *medida* del computador debería ser mejor, pues las computadoras no se equivocan.  
*En el caso de las medidas con el computador...* Los errores están pero no son tan evidentes como cuando hacemos medidas manuales  
 E2H. *Hacemos varias medidas* ...Para ver que tan exacto, que tan precisas son las medidas, así sacamos el promedio y el error, si las medidas son parecidas entonces estamos ante un valor mas preciso.

E6L. *Confiabilidad de los datos..* repetiría el experimento, para ello necesito toda la información de como se hizo el experimento, si yo veo que hay discrepancias y haga todo lo que otros hicieron, pensaría que no son confiables. Si no puedo repetir el experimento, vería los errores ¿qué tanto es el margen de error? y estimar teóricamente esos resultados  
 E6L. *El error es para...* Estimar en que rango me muevo, si me alejo mucho de la idea establecida teóricamente, o me acerco, me da la estimación de cuan confiable es el resultado. Por eso es importante  
 E6L. *Si no tengo valor de referencia...* En ese caso, podríamos repetir una secuencia de experimentos con algún grado de distinción para ver como discrepan esos resultados por ese grado de distinción, por ej. puedo cambiar una variable aquí y luego otra acá, para ver los cambios que ocurren y como esos cambios afectan ese resultado, por lo tanto veo que eso corresponde con los resultados esperados. .... también esperaría que otros hagan el experimento para ver en qué medida se corresponden esos resultados entre si.  
 E6L. *Discrepancias sistemáticas entre lo esperado y lo obtenido* Yo creo que allí lo mejor es repetir las mediciones, y cuando este seguro de la discrepancia debo tomar la decisión de: si este modelo teórico no me explica o si este experimento tiene problemas. Ahí tendría que analizar el experimento, las causas, si fueron variables que no considere, si en el procesamiento de las películas ocurrió algo, en fin muchas posibles elementos.

E5Y, Primero en el TL. 1 (*estudio piloto*) nunca le preste atención a los errores, las cosas me daban, en el TL 2 (*ensayo*) aprendí a darle valor a los errores y en el TL3 me di cuenta que eran importantes, y ahí fue que tuve que copiar de nuevo el material de los cursos de laboratorio anteriores sobre errores y propagación y estudiarlo de nuevo. Por que ahí fue que cuando no me daba una medida decía porque. Y claro al considerar el error relativo podía establecer comparaciones y ver la discrepancia y ver que si daba. Si al final no cuadra uno piensa que esta todo malo y con el error uno puede darse cuenta si esta mal o esta dentro del rango. Además, uno podía darse cuenta donde había mayor error y que mediciones debía mejorar, buscando mayor precisión en esa medida.  
 Lo que pasa es que en los cursos anteriores la clase de calculo de errores fue teórica, pero no lo aprehendimos como una herramienta del trabajo de lab, no lo apreciaba y por eso no lo usaba en los trabajos de lab. Hasta ahora que me di cuenta de su importancia.  
 E5Y. *Datos confiables...* Lo comparábamos con el modelo, si se aproxima a éste o se alejaba, se hacían varias mediciones y uno veía si eran mas o menos..., además disminuíamos los errores. Si tenía una serie de datos y con ellos hacia una tabla y con ellos un grafico y los superponía con el modelo, si están acotados son confiables, pues se supone que el modelo fue construido de manera muy controlada con muchas experiencias y datos.

E5Y. *Desechaba* Los *datos* que me daban ni remotamente parecidos a los esperados, yo siempre trataba de estimar qué podría obtener según el modelo, como hipótesis. Y verificaba que no había ningún indicio de error de calculo o de algo en el experimento que estuviese mal hecho y no podía justificarlo, lo desechara. En cambio si me permitía explicar algo en el montaje que lo justificara, a pesar de que no lo esperaba, lo dejaba. Antes de borrarlo lo estudiaba.

E4J. Para aproximarse mas a la realidad, hay una cantidad de errores que al principio parece no tener mucha influencia en el fenómeno, pero después que vemos esos errores al final puede influir bastante en los resultados. Entonces es como si los resultados no se están aproximando mucho a la teoría, podemos como que ver en que estamos fallando y en eso pueden ser los errores.

E4J. *Si no nos aproximamos...* Yo pensaría que hay unas variables intervinientes que no estamos tomando en cuenta. Hay que revisar el diseño hay que ver si él esta acorde a lo que queremos medir, a lo que tenemos de referencia. Bueno y también ver si esos errores influyen en algo.

E4J. *Datos confiables...* Es bueno hacer varias medidas, ver si esas medidas están concordando con las que hemos realizado y si a la vez están concordando con la teoría. Si es así vamos por un buen camino.

E4J. Si hacemos tres medidas y esta dando muy diferente es preferible hacer mas para ver si entran en un margen aceptable. Y también cuando esta dando poco aproximado al diseño teórico, entonces puede que el diseño experimental tenga algún error.

E4J. Si eso continua, es que esta sucediendo un fenómeno que no estamos tomando en cuenta en el modelo. Como en el caso de la barra que para longitudes pequeñas que daba algo diferente, empezamos a pensar en lo que puede estar pasando

#### 4. Aprendizajes logrados

En general, los estudiantes consideran haber aprendido en este curso; los aprendizajes que hacen explícitos tienen que ver con el dominio metodológico (mediciones, procesamiento y análisis de datos, comunicación de resultados). Ellos consideraron crucial la incorporación del computador tanto en las mediciones como para el análisis, y el haber dedicado más tiempo a la reflexión sobre el fenómeno y a las transformaciones y análisis de datos. La estudiante E2H aunque manifiesta haber aprendido sobre la tarea de transformar los datos, señala no haber alcanzado autonomía, lo cual se observó en su reporte final.

Unidades de análisis extraídas de los protocolos transcritos de los estudiantes del ensayo, correspondientes a los aprendizajes alcanzados.

E2H. Yo siento que yo aprendí mucho en este curso, hay muchas cosas que yo nunca había hecho. La medidas que hicimos con el detector, con las películas y el Excel.  
Trabajar en grupo me costo, el grupo era muy desentonado. Falto comunicación.  
El uso del programa de Excel, aprendí a usarlo. Para acomodar los datos y obtener los resultados. Aprendí transformaciones, por Ej. en el TL1 obtener los picos máximos, y todo el proceso. En el TL2 no sabía las transformaciones que tenía que hacer. Eso no me quedó claro.

E6L. Recordé como usar el vernier. Utilizar el videopoint, la película me permitió darle bastante tiempo a la observación y el detalle, pues en otros experimentos mides y listo, aquí puedes detenerte a detallar el fenómeno. Creo que me permitió ampliar la visión experimental.

El uso del Excel fue una herramienta que se retomó con mas significación que en cursos anteriores. No se uso antes con esa extensión de ahora, hice las graficas calcule errores, analice.

E6L. En cuanto a eso (*procesamiento y análisis*), fue mucho mas significativo, porque se produjo mayor data para un experimento, pudimos clasificarlos, calcular parámetros a partir de ellos, emplear esos

nuevos datos como combustible para obtener otros datos, y el Excel fue una herramienta relevante pues a mano todavía estriamos procesando los primeros datos.

El análisis de tendencia fue nuevo, fue muy bueno y significativo pues en cuanto a la graficas y como se superponían mas o menos ya lo hemos hecho. El análisis de tendencia me permitió decir esto esta cerca del análisis teórico y cuán cerca está.

E5Y. Todo lo que tiene que ver con la computadora, lo del detector de movimiento, aprendí a usar el Excel para muchos mas trabajos, el uso de las películas para esos casos de movimientos que son difíciles de observar. Eso permite hacer mas manipulación del fenómeno.

E4J. Lo que mas me gusto fueron los procedimientos para medir con el computador y el uso del programa de calculo. Ahora mis informes son mejores, antes mis informes eran antes como los de secundaria.

### *5. Valor del pan general representado en la V de Gowin para el TL.*

Dado que el plan de acción planteado para la ejecución del TL en este trabajo es una de las dos dimensiones de este estudio, el cual fue representado mediante la V de Gowin (Figura 8-1), se incluyó en la entrevista una pregunta sobre el valor que los estudiantes le daban al uso de esta herramienta. Las respuestas obtenidas muestran que para ellos esta representación del TL fue un organizador del proceso tanto durante su realización como para la comunicación de los resultados; además, los estudiantes pudieron dar cuenta de cómo el uso de esta herramienta contribuía con su progreso a lo largo del curso. En su opinión les permitió:

- **Darle coherencia al trabajo completo:** “(E5Y) Es útil pues permite darle armonía a todo, lo teórico con lo experimental y todo relacionado con del problema.”.
- **Interrelacionar las diferentes tareas:** “(E2H) Siempre la tenia allí para lo que tenia que hacer, pero al final era que lo organizaba. (E5Y) Yo soy muy visual y lograba armar las piezas que iba produciendo.”.
- **Como una herramienta metacognitiva:** “(E6L) ... me permitía ordenar mis ideas ..... esa secuencia de la V es útil para revisar el trabajo. (E4J) Uno va viendo el proceso, creo que no se escapa nada de allí...me ayudó a precisar lo que tenía que comunicar. (E5Y) La V la tenía en la cabeza, y siempre pensaba en cómo cada acción tiene que ver una con otra, y así yo no me perdía.”
- **Para comunicar los resultados:** “(E2H) La use en el momento del informe. (E5Y) Ahora, todo estaba relacionado y se integraba en función de las preguntas. Siempre que iba a escribir algo en lo metodológico veía si tenía correspondencia con lo teórico y viceversa, y si todo esto estaba enmarcado en las preguntas; me ayudo a hacer las conclusiones, pues era la integración de lo teórico con lo experimental según las preguntas. (E4J) Me ayudó en la estructura del informe, me ayudó a precisar lo que tenía que comunicar.

Se puede concluir que el uso de esta herramienta, le permitió a los estudiantes tomar conciencia de la complejidad del trabajo experimental, como un conjunto integrado de tareas en las que se interrelacionan los dominios teórico y metodológico; además, valoraron la presencia explícita de preguntas producidas por los estudiantes que guían el desarrollo del TL. Todo ello se corresponde con una de las metas de aprendizaje de orden epistemológico de este ensayo.

Unidades de análisis extraídas de los protocolos transcritos de los estudiantes del ensayo, correspondientes a la valoración dada a la representación del plan de acción en el TL en la V de Gowin.

E2H. Si la use, esa era la idea, nosotros hicimos el trabajo con la V. La use en el momento del informe. Después de que tenía todo, fue que me fije en la V para introducirlo ahí. Bueno para hacer el evento yo tuve que haber visto la V, y decir el evento es esto, .... y para ver los datos, registros, transformaciones, tuve que haber visto la V. Como que me estoy contradiciendo. Me estoy acordando que si tuve que haber visto la V para ir anotando en el cuadernos, las preguntas, las variables, cosas no se especificaban en la V. Siempre la tenía allí para lo que tenía que hacer, pero al final era que lo organizaba.

E6L. Al principio estaba super enredado en la V, en mi mente no tenía lógica, pues tenía un conjunto de estructuras que se entrelazaban pero de manera no definida, a veces era con la anterior o con las tres anteriores o solo con la primero, y eso me produjo ruido. Luego en el segundo trabajo, trate de ver la esencia de la V y colocarle cosas mías, por ej. en la V no hay una parte donde diga hipótesis, hay que incluirlas, ahora la V me pareció flexible pues puedo colocarle cosas según el trabajo, ahí considero que la V me permito unificar la parte experimental con la teórica.

E6L. La use también para entender, para comprender como hacia los procesos, aunque estos procesos son muy dispersos, la V me permitía ordenar mis ideas tanto para mi y como para presentarlo en el informe para otros. Me sirvió como herramienta durante el proceso, ...esa secuencia de la V es útil para revisar el trabajo.

E5Y. Había leído sobre ella, pero no la había usado. Es útil pues permite darle armonía a todo, lo teórico con lo experimental y todo relacionado con del problema. Pues yo recuerdo laboratorios donde yo obtenía cosas pero que no era para lo que se estaba pidiendo. La V la tenía en la cabeza, y siempre pensaba en cómo cada acción tiene que ver una con otra, y así yo no me perdía. Yo soy muy visual y lograba armar la s piezas que iba produciendo.

E5Y. *En los informes..* Antes, yo siempre hacia una introducción, MT era toda la teoría que había leído, tuviera o no que ver con el experimento. Había un experimento pero ya. La conclusiones eran solo los datos del laboratorio , no importaba si tenía relación o no con la teoría.

Ahora, todo estaba relacionado y se integraba en función de las preguntas. Siempre que iba a escribir algo en lo metodológico veía si tenía correspondencia con lo teórico y viceversa, y si todo esto estaba enmarcado en las preguntas; me ayudo a hacer las conclusiones, pues era la integración de lo teórico con lo experimental según las preguntas.

E4J. Si vale la pena, se ve como una secuencia del trabajo. Uno va viendo el proceso, creo que no se escapa nada de allí. El que lea el informe puede ver con claridad el proceso, no creo que se pierda.

Me ayudó en la estructura del informe, me ayudó a precisar lo que tenía que comunicar.

Los informes tradicionales se escapan muchas cosas que en la V se toman en cuenta, por ejm la parte de las preguntas no esta explicito uno va a medir algo y ya, no hay un porque, no se tiene meta. En el tradicional, las interrogantes están impuestas pero no se ven en el informe, uno va hacer algo establecido y ya, con un único fin

## *6. Comparación de este curso con los cursos de laboratorio realizados anteriormente.*

En este trabajo nos pareció relevante que los estudiantes reflexionaran acerca de las diferencias entre la forma de trabajo en el laboratorio en este ensayo en comparación con sus experiencias en cursos pasados. Como se puede ver de las respuestas de los estudiantes, los TL que habían realizado anteriormente seguían una rutina: “(E6L) Hacíamos un seminario, una exposición del planteamiento teórico, no hacíamos estimaciones, nada de eso; solo estudiábamos la teoría y luego hacíamos el experimento tal cual receta, hagan esto, hagan esto y ya. (E5Y) Los seminarios fueron de demostraciones en la pizarra. Al final hicimos algunos montajes ... y los seminarios ayudaban. Pero no había problema, había metas: practiquen haciendo estos pasos.” Los estudiantes lograron discriminar entre las dos formas de trabajar en el laboratorio, considerando que la propuesta de este ensayo implicaba mayor creación por parte del estudiante, como lo expresa E6L: “En este lab, no se presentaban preguntas concretas, estudiábamos la teoría y según él decíamos 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? ¿que estimamos?; nunca hubo una pregunta, una motivación para lo que íbamos a hacer”. Y E5Y dice, “Este curso era de construir y comparar, uno veía el problema pero no sabía qué quería estudiar, el proceso era de definir el problema y replantearlo en términos experimentales, y luego pensar qué debo montar para responder o solventar el problema.”

Además, los estudiantes consideran que esta forma de llevar adelante los TL es más significativa y más cercana al trabajo científico:

E6L: Hacer esto, plantearse las preguntas, hace que sea significativo; la pregunta es relevante pues así yo tengo que hacer lo necesario para buscar resolver ese pregunta.

E5Y: Este proceso es mas significativo, le queda mas, lo puede reproducir cuando va a trabajar con sus propios estudiantes.

E4J: En cambio aquí uno va haciendo interrogantes, hay una discusión al inicio de ahí vamos sacando nuestras interrogantes, nuestras expectativas, además el examencito del principio nos traía mas interrogantes, entonces hizo el trabajo dinámico pues todos teníamos dudas, y compartíamos las diferencias, discutíamos las diferencias, era como jugar al científico. Uno pensaba cómo hacer esto, pero luego comparábamos con la teoría fue mas interesante, nos creaba mas curiosidad.

Unidades de análisis extraídas de los protocolos transcritos de los estudiantes del ensayo, correspondientes a la valoración dada al trabajo de laboratorio de este ensayo

E2H. En el curso de lab II vi el manejo de los instrumentos, los errores, la propagación de errores, y aquí en el curso de lab III fue como mas profundo pues manipulamos mas el experimento. Lo que hice en el curso de lab II me sirvió como herramientas para el curso de lab III igual en Física experimental.

E6L. El , sobre todo no se trabajó con esta metodología de crear las preguntas. Hacíamos un seminario, una exposición del planteamiento teórico, no hacíamos estimaciones, nada de eso; solo estudiábamos la teoría y luego hacíamos el experimento tal cual receta, hagan esto, hagan esto y ya. En este lab, no se presentaban preguntas concretas, estudiábamos la teoría y según él decíamos 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 planteo, si tenemos esto y esto ¿qué deberíamos obtener? ¿que estimamos?; nunca hubo una pregunta, una motivación para lo que íbamos a hacer. Hacer esto, plantearse las preguntas, hace que sea significativo; la pregunta es relevante pues así yo tengo que hacer lo necesario para buscar resolver ese pregunta.

E5Y. El curso de lab 1 era un poco mas de ensayo y error, no tenía seguridad del modelo teórico, hasta que lográbamos verificar el modelo. No estaba la orientación de éste, el problema, no sabía lo que buscaba, y por eso perdía mucho tiempo viendo como lo monto, que quiero ver, porque a veces no sabía lo que quería ver. En el curso de lab 2 para mi fue distinto porque nos ayudaron mucho los seminarios, allí fue mas bien tapar los vacíos y cuando íbamos a ponerlas en practica, porque era una cosa lo que teníamos de teoría y otra lo que podíamos hacer experimental. Los seminarios fueron de demostraciones en la pizarra. Al final hicimos algunos montajes como: la practica del osciloscopio, el voltímetro, calcular la resistencia, y los seminarios ayudaban. Pero no había problema, había metas: practiquen haciendo estos pasos. Este curso era de construir y comparar, uno veía el problema pero no sabía qué quería estudiar, el proceso era de definir el problema y replantearlo en términos experimentales, y luego pensar qué debo montar para responder o solventar el problema. Este proceso es mas significativo, le queda mas, lo puede reproducir cuando va a trabajar con sus propios estudiantes.

E4J. Desde el lado científico, me parece que son inquietudes del científico, él va al laboratorio para ver si funciona como él lo esta pesando, él esta estudiando algo, y con el diseño teórico el se va creando algo, un fenómeno que el se imagina y va al laboratorio para ver si hay concordancia. En el lab educativo yo veo que lo hacemos como para ver si la teoría se esta cumpliendo, como para convencernos que eso funciona así. *Si no resulta todo como espero...* Hay que ver esas variables intervinientes y otras cosas que no hemos tomado en cuenta para guiarnos. *Que ocurra esto ..* Es importante pues eso nos crea mas inquietudes, nos abre esa curiosidad y nos pone a buscar a buscar como detectives para ver que hayamos. E4J. En los lab anteriores se hace un seminario del tema al comienzo y luego vamos a contrastar eso, las preguntas ya están como , puestas, y uno va a responder preguntas. En cambio aquí uno va haciendo interrogantes, hay una discusión al inicio de ahí vamos sacando nuestras interrogantes, nuestras expectativas, además el examencito del principio nos traía mas interrogantes, entonces hizo el trabajo dinámico pues todos teníamos dudas, y compartíamos las diferencias, discutíamos las diferencias, era como jugar al científico. Uno pensaba cómo hacer esto, pero luego comparábamos con la teoría fue mas interesante, nos creaba mas curiosidad. Lo que hacíamos era investigar e investigar. La parte de hacernos tantas interrogantes, nos llevaba mucho tiempo, como que nos volvíamos como locos con tantas cosas que pensábamos, tal vez eso nos privó de hacer mas experimentos en el curso. De no haber dedicado tiempo a esto no hubiésemos adquirido el aprendizaje que alcanzamos.

### 8.7.3 Evolución de los estudiantes en el dominio epistemológico

Desde el punto de vista del aprendizaje en el dominio epistemológico, aunque no se esperan grandes avances a corto plazo, se pudieron inferir algunos logros por estudiante, a partir de las reflexiones y de las entrevistas, complementadas con los reportes finales; los que se sintetizan en el Cuadro 8-23. Los estudiantes que alcanzaron mayor desarrollo conceptual en el dominio teórico y metodológico, también dan cuenta de mayor conciencia acerca del proceso indagatorio durante el TL, reconociendo y valorando como fundamental la interrelación entre el dominio teórico y los referentes fenomenológico. El estudiante E1C aunque verbaliza cada una de las acciones implícitas en la ejecución de un TL a partir de la situación a resolver, algunas de ellas no aparecen expresadas de manera específica en su reporte, por lo cual se infiere que el desarrollo de su significación es aún incompleta, ya que no logra representarla externamente.

En el caso de la estudiante E2H, su reporte final pone en evidencia poco dominio epistemológico, sus acciones muestran poca autonomía, lo cual es confirmado en la entrevista. En el reporte final, las tareas propiamente experimentales pareciera no considerarlas como situaciones-problema, sino como acciones de una secuencia preestablecida que no depende del problema del TL, ni de los modelos desarrollados para dar cuenta de este. Y, en la entrevista manifiesta que ante estas tareas aún tiene dificultades para su ejecución.

**Cuadro 8-23** Logros alcanzados por los estudiantes en el dominio epistemológico con el desarrollo del TL referido a la propagación de ondas mecánicas. (N: 5)

<b>Valoración del aprendizaje en el dominio:</b>	<b>E1C</b>	<b>E2H</b>	<b>E4J</b>	<b>E5Y</b>	<b>E6L</b>
Teórico (análisis Cuadro 8-21)	Medio	Medio	Alto	Alto	Alto
Metodológico (análisis Cuadro 8-22)	Medio	Bajo	Alto	Alto	Alto
<b>Aprendizaje en el dominio epistemológico</b>	<b>E1C</b>	<b>E2H</b>	<b>E4J</b>	<b>E5Y</b>	<b>E6L</b>
Reconocimiento de la existencia de abstracciones derivadas del modelo (medio no dispersivo, resorte equivalente a cuerda tensa, densidad lineal del medio homogénea, otros) para dar cuenta de los eventos del mundo real y para el diseño del experimento.	X	--	X	X	X
Producir apropiadas explicaciones o argumentaciones	--	--	X	X	X
Reconocer las estrategias de indagación más convenientes para el estudio de la propagación de pulsos en cuerdas.	X	--	X	X	X
Reconocer qué mediciones deben repetirse y cuáles pueden ser	--	--	X	X	X

<b>Valoración del aprendizaje en el dominio:</b>	<b>E1C</b>	<b>E2H</b>	<b>E4J</b>	<b>E5Y</b>	<b>E6L</b>
seleccionadas para su análisis					
Reconocer los datos que no son confiables para generar conclusiones	--	X	X	X	X
Analizar la clase de datos que se producen y transformarlos en atención a preguntas planteadas.	X	--	X	X	X
Selección de los procedimientos mas apropiados para el análisis de los datos en atención al modelo asumido.	X	--	X	X	X
Identificar los elementos para la producción de una conclusión confiable.	--	--	X	X	X

## 8.8 CONCLUSIONES GENERALES DEL ENSAYO

En este ensayo, el trabajo de laboratorio (TL) es concebido como un espacio propicio para el aprendizaje en el dominio metodológico y en el dominio teórico en permanente interrelación, así como para el desarrollo de una visión acerca de la actividad experimental cónsona con las tendencias aceptadas en la comunidad científica. Para ello, se propuso un TL que parte de una situación problema, cuyo abordaje desde la perspectiva cognitiva, ha sido interpretado mediante el modelo MATLaF que se derivó de la teoría de Campos Conceptuales de Vergnaud; y desde una visión de la actividad científica como un interjuego entre lo teórico y lo metodológico que incide en lo epistemológico, ha sido orientada su solución, por un plan de acción que da cuenta del proceso indagatorio en la actividad experimental. Con estas dos vertientes se planificó la intervención didáctica que fue evaluada en este trabajo.

Desde este marco referencial, la integración de los resultados obtenidos y reportados en las secciones anteriores permite producir las conclusiones más relevantes del trabajo. Las que serán expuestas tomando como guía las preguntas de investigación establecidas y expresadas al inicio de este capítulo.

*1. ¿Qué Invariantes Operatorios, IO, activan los estudiantes ante las situaciones problema presentadas en relación con el tema de ondas mecánicas en medios no dispersivos?*

Desde el modelo MATLaF, se plantea que el primer contacto del estudiante con las situaciones problema que se abordarán en el TL, se efectúa al inicio del trabajo en forma individual, esto permitió que los estudiantes activen IO relacionados con el

campo conceptual en el que se trabajará<sup>12</sup>, y luego en colectivo discuten sus respuestas, lo que facilitó la explicitación de los IO de cada sujeto. Este proceso cognitivo es necesario para el aprendizaje, dado que en el marco de la teoría de campos conceptuales, los IO se constituyen en precursores de las conceptualizaciones de la ciencia que esperamos sean aprendidos por los estudiantes.

En tal sentido, los resultados de la aplicación de los tres cuestionarios contentivos de siete situaciones-problema relacionadas con la propagación de las ondas mecánicas, y la entrevista colectiva donde se discutieron las respuestas individuales a ellos, permitieron dar cuenta de los conceptos-en-acción, CEA, y los teoremas-en-acción, TEA, activados por los estudiantes en su resolución. En este ensayo, independientemente, de que la solución obtenida por los estudiantes haya resultado o no coherente con el conocimiento científico, se tiene que la mayoría resolvió las situaciones planteadas, por lo cual, los razonamientos ante las diversas situaciones, han sido considerados como Invariantes Operatorios, IO.

Los IO identificados en los estudiantes y relacionados con el dominio teórico son:

#### **CEA**

Energía, Materia, Partículas, Transporte, Propagación, Dirección, Onda, Perturbación, Ligadura entre Partículas, Medio, Oscilación, Posición de Equilibrio, Fuente de Perturbación, Valles, Crestas, Onda Longitudinal, Onda como Forma, Movimiento Armónico, Onda Sinusoide, Rapidez del Pulso, Rapidez de la Partícula del Medio. Frecuencia, Intensidad de la Onda, Volumen, Amplitud, Longitud de la Onda, Velocidad de la Onda, Colisión, Cantidad de Movimiento de la onda.

#### **TEA**

1. La onda transporta energía
2. La onda no transporta materia
3. Las personas en la *ola humana* actúan independientes, en cambio las partículas en un medio donde se propaga una perturbación no son independientes
4. La onda es una perturbación que pasa por el medio

---

<sup>12</sup> Seguramente que se activaron esquemas de orden social o cultural en el abordaje de la tarea que no fueron estudiados en este ensayo.

5. La perturbación origina la oscilación (sube y baja) en torno a una posición de equilibrio de las partículas del medio (agua, cuerda tensa), haciendo observables crestas y valles.
6. La perturbación la produce una fuente (lancha, cuerdas vocales vibrando, mano)
7. El sonido se propaga como una perturbación longitudinal en el medio.
8. Las características del movimiento de la fuente determinan las características de la oscilación de las partículas del medio por donde se propaga la perturbación.
9. La velocidad de la onda depende del medio en donde se propaga
10. Las figuras o formas similares a la representación empleada para las ondas constituyen un efecto perceptivo que no es relevante para decidir científicamente que la situación presentada sea una onda.
11. Una oscilación armónica sólo se asemejan pictóricamente a una onda, es decir, la representación de la función seno o coseno de la oscilación armónica es similar a la representación de una onda, lo cual no es un criterio científico para considerar que sea una onda.
12. La perturbación, refiriéndose a una onda, es la oscilación de las partículas del medio.
13. Las partículas del medio (personas en el problema de *ola humana*) oscilan (suben y bajan) por lo cual es una onda.
14. Como las personas sólo oscilan una a continuación de la otra, una perturbación se propaga por el medio (personas) sin transportar materia y transportando energía
15. La rapidez (del sonido) se puede determinar por la relación entre la distancia que recorre el sonido y el tiempo que emplea en hacer el viaje.
16. La rapidez de una partícula del medio que oscila es igual a la rapidez del pulso que se propaga por el medio
17. La onda es un objeto material
18. La onda posee cantidad de movimiento ( $p=mv$ )
19. La onda colisiona con las partículas del medio

20. La frecuencia es el número de veces de un evento (oscilaciones) por unidad de tiempo
21. La velocidad de la onda equivale (o depende) de la frecuencia de ella
22. La rapidez del sonido equivale a la distancia recorrida por la frecuencia ( $v=dx/f$ )
23. El volumen del sonido determina su intensidad y ésta depende de la amplitud de la onda
24. La intensidad es independiente de la frecuencia, en consecuencia por el TEA (21) no influye en la velocidad de la onda
25. La longitud de onda depende de la intensidad (amplitud) de ella
26. La velocidad de la onda depende de la amplitud de ésta
27. Si cambia la intensidad del sonido varía su velocidad de propagación
28. Las ondas se encuentran y se *absorben* unas a otras
29. El medio puede ser material o vacío
30. Las ondas electromagnéticas se propagan a través de campos electromagnéticos
31. En el caso de ondas estacionarias no se produce transporte de materia, mientras que si son ondas viajeras si ocurre este fenómeno.
- 32 La superposición de las ondas en algún lugar del espacio puede ser destructiva, pero luego las ondas siguen su camino.

Los IO identificados en los estudiantes, han sido agrupados en tres clases en atención a su contenido desde la perspectiva de la física, las cuales son:

- i) Invariantes operatorios que pueden asociarse a los conceptos y propiedades de las ondas mecánicas en medios elásticos no dispersivos (TEA: 1 a 11, 13, 15, 20, 22 y 23, 30, 32 / Cuadro 8-1)
- ii) Invariantes operatorios asociados con el modelo newtoniano de partícula. (TEA: 17, 18 y 19 / Cuadro 8-1)
- iii) Otros invariantes operatorios que no son consistentes con los conocimientos científicos (TEA: 12, 14 , 16 a 19, 21, 24 a 29, 31 / Cuadro 8-1)

Si bien las situaciones presentadas se referían todas a una misma clase, es decir, se podían resolver desde la física con el mismo conjunto de conceptos y teoremas

(esquemas); los resultados muestran que los estudiantes no las identificaron como semejantes. Se tiene que ante las situaciones 3 (olas en superficie de agua), 4 (canción) y 5 (péndulo oscilando) del cuestionario 1 (Anexo 8-A) todos activaron esquemas del *tipo i*, y frente a las situaciones referidas a ondas propagándose en el aire (situación 2, cuestionario 2, y situación 1, cuestionario 3; Anexo 8-A) algunos estudiantes activaron IO del *tipo ii*. Además, frente a las situaciones que requerían operar con variables como frecuencia de la fuente, velocidad de la onda, longitud de la onda, amplitud, otras; la mayoría de los estudiantes activó IO del *tipo iii*. En consecuencia, si bien los CEA parecen ser los mismos, los TEA evidencian significaciones diversas, además, los esquemas tienen un alto grado de especificidad (ver la diversidad de categorías de respuestas en el Cuadro 8-1).

Esta discriminación entre las situaciones y el uso de múltiples esquemas dentro de un campo conceptual determinado, es un indicador de un bajo nivel de generalización, por lo que surgió la necesidad de extender la operatividad de los esquemas a clases de situaciones más amplias. Y para ello, es fundamental en principio el reconocimiento de los IO por parte del sujeto en acción (Vergnaud, 1990)

Por otra parte, esta diversidad de esquemas empleados en el abordaje de las situaciones propuestas, es consistente con los encontrados por Wittmann (1998, 2002), quien plantea que los estudiantes de sus estudios utilizaban elementos de diferentes modelos cuando responden a preguntas de física relacionadas con ondas; entre los modelos sintetizados por este autor, están: el modelo newtoniano de partícula, el modelo de pulso-partícula y el modelo de onda. De igual forma, Bravo y Pesa (2002, 2004) reportan que los estudiantes de sus estudios, ante situaciones semejantes relacionadas con el tema de ondas, desde la perspectiva de la ciencia activan diferentes esquemas que presentan significaciones y representaciones con diferente grado de aproximación a los aceptados desde la física.

*2. ¿Qué dificultades conceptuales en el dominio teórico, metodológico y epistemológico, se identifican en los estudiantes en relación con situaciones problema dentro del campo conceptual de ondas mecánicas en medios no dispersivos que llevan a la ejecución de TL?*

Como una consecuencia de lo anterior se identificaron algunas dificultades conceptuales en los estudiantes relacionados con el dominio teórico en el cual se enmarcaban las situaciones propuestas. Así mismo, derivado del ensayo piloto (Capítulo

7) se identificaron puntos cruciales relativos al dominio metodológico. Todos ellos deberían ser atendidos de manera intencional en el ensayo.

En tal sentido se concretaron como ejes direccionales para la mediación en el ensayo, las siguientes áreas:

- Ampliar la extensión de la clase de situaciones para las cuales los esquemas cónsonos con los conocimientos de la ciencia resultan operativos, mediante el reconocimiento explícito de los elementos claves del modelo físico y su operatividad eficiente y efectiva en la resolución de situaciones-problema que implican actividad experimental; así como también, la discriminación entre estos aspectos claves del modelo físico y otros elementos identificados en los IO que no resultan ser efectivos.

- La problematización de las tareas propiamente experimentales, a fin de que ellas no sean consideradas como procedimientos vacíos de conceptos y teoremas, sino como tareas complejas que demandan el uso de esquemas, y que por lo tanto, exigen el reconocimiento explícito de los IO de los sujetos en acción, y la mediación directa sobre ellos en el proceso educativo.

- La discusión y reflexión acerca del proceso indagatorio experimentado durante la ejecución de un TL que se concibe como una situación problema a resolver por parte del estudiante bajo la orientación y mediación del docente. Este aspecto estaría dirigido a la construcción de una visión acerca de la ciencia, ya que el TL es la actividad dentro de la enseñanza de la ciencia que tal como lo plantean diversos autores (Hodson, 1994; Leach, 1999; Leach y otros, 2001; Duschl, 2000) parece poner en acción y en evidencia la interrelación entre el dominio teórico y el dominio metodológico, así como, las diversas formas de actuación que permiten el crecimiento de ambos dominios.

Los tres ejes de atención expuestos se explicitaron en términos de objetivos de aprendizaje a ser facilitados con la intervención didáctica durante el desarrollo de las siguientes fases de ejecución del TL, los cuales para los estudiantes en acción se constituyeron en las metas a lograr con el abordaje del TL (ver páginas 8-45 y 8-46).

*3. ¿El desarrollo de un TL mediado según el modelo MATLaF descrito en el capítulo 5, que se centra en la resolución de situaciones problema relativos a: la naturaleza de las ondas, propagación de las ondas y dependencia de la velocidad de la onda con otras variables, y que es orientado por el plan general derivado desde una visión de la actividad científica representada en la Figura 8-1, facilitará en los estudiantes*

*aprendizajes previamente establecidos dentro del dominio conceptual teórico-metodológico y del ámbito epistemológico?*

Tal como lo plantea Vergnaud (1996), el aprendizaje es el resultado del sujeto en acción mediado por el docente y no sólo con la exposición verbal por parte éste. Con esta premisa, el modelo MATLaF propone que las acciones propiamente experimentales<sup>13</sup> sean consideradas como tareas complejas dentro del TL, por lo tanto, es necesario que los estudiantes las enfrenten como situaciones problema que requieren de conceptualizaciones para su solución. Además, si se quiere lograr aprendizaje es necesario que los estudiantes se enfrenten a tareas novedosas y que durante su abordaje, el docente asuma su rol de mediador del aprendizaje.

En este ensayo, en primer lugar se guió a los estudiantes hacia la formulación de preguntas relevantes para el problema experimental propuesto; para ello se indicó que tomaran en cuenta los aspectos que resultaron consensuados y aquellos que generaron controversias en la sesión de discusión de las respuestas a las situaciones problema planteadas al inicio del TL; algunas de las cuales eran consistentes con conocimientos de la ciencia, y otros no. A partir de ello, y durante el desarrollo de las fases II a V del plan de acción del TL, se hicieron intervenciones didácticas como:

- Actividades dirigidas a ayudar a los estudiantes a identificar las metas específicas de cada tarea.
- Se guió en la planificación y selección de la información y los procedimientos relevantes para su solución;
- El modelado por parte del docente de algunas acciones como por ejemplo ilustrar el uso de un programa para medir o procesar datos.
- La inclusión de formas de representación lingüística, gráfica y simbólica como medio de expresión de las conceptualizaciones que emplearon en la solución de las tareas, así como su interrelación.
- Propiciar momentos para compartir el proceso y los resultados entre los pares.

Los resultados obtenidos en esta etapa del ensayo bajo las condiciones descritas permiten concluir que:

---

<sup>13</sup> *Diseñar experimento, realizar mediciones, recolectar y organizar datos, transformar y representar resultados*, entre otras, todas típicas del quehacer del laboratorio en la ciencia.

i) En el dominio teórico, al finalizar el ensayo los estudiantes produjeron movimientos en sus conceptualizaciones, en diferente grado (Cuadro 8-21). En general, todos dejaron de activar aspectos relacionados con los conceptos que no se corresponden con las ideas de la ciencia frente a los problemas planteados, ello puede considerarse como una evidencia de que ocurrió una reconstrucción conceptual con un mayor grado de acercamiento a las concepciones científicas, es decir, se construyeron y activaron esquemas conformados con conceptos y teoremas próximos a los científicos. Estos esquemas se caracteriza por contener, además de algunos IO del grupo i (apartado 8.6.3.1), el siguiente IO nuevo:

CEA: *Velocidad de propagación de ondas en cuerdas, tensión de la cuerda, cuerdas idénticas, densidad lineal.*

TEA: *Si las cuerdas son idénticas tienen igual densidad lineal.*

*Si la Tensión (T) sobre las cuerdas es la misma y su densidad lineal ( $\rho$ ) también, los pulsos que viajen por ellas tendrán igual velocidad de propagación (v), por que:*

$$v = (T/\rho)^{1/2}$$

*Si los velocidades de las ondas son iguales y las longitudes de las cuerdas son iguales, las frecuencias también serán.*

Sin embargo, sólo tres estudiantes lograron explicitar sus significados en las producciones finales, mediante representaciones verbales, gráficas y simbólicas, y uno de estos logró también el manejo interrelacionado de múltiples variables. Los otros dos estudiantes evidenciaron poca autonomía al explicitar sus significados exponiendo representaciones que parecen copias de los libros de texto.

Esto es una evidencia de que el desarrollo conceptual es algo progresivo y no lineal, donde cada estudiante avanza de forma independiente, y como resultado de su actuación ante diferentes situaciones. Por lo tanto, se considera que la mediación adoptada en este ensayo para guiar a los estudiantes en acción, parece haber contribuido con el desarrollo conceptual de ellos.

ii) En el dominio metodológico, se puede decir que la presentación de las tareas propias del quehacer experimental como situaciones problema, le permitió a la mayoría de los estudiantes (4 de 5) el desarrollo de conceptualizaciones relacionadas con ellas, con lo cual lograron discriminar las tareas y reconocer 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. Además, los estudiantes lograron hacer explícita la interrelación entre lo teórico y lo fenomenológico, en las diferentes fases del TL.

Sólo una estudiante mostró una actuación final poco autónoma y continuó sin discriminar entre las diferentes tareas experimentales, por lo que se considera que no logró dominar la situación de laboratorio. Es importante destacar que la estudiante está consciente de estas dificultades, tal como lo expresó en la entrevista final.

Entre los IO incorporados por cuatro de los estudiantes en relación con el dominio metodológico, 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:**

*Si el problema de un TL se enmarca en un dominio teórico se podrán derivar preguntas, hipótesis y predicciones.*

*El problema del TL se enmarca en un dominio teórico que 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 de los resultados esperados según el 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.*

iii) En el dominio epistemológico. Aún cuando la construcción de una visión acerca de la actividad experimental en la ciencia es resultado de un proceso a largo plazo, mayor que el requerido para el desarrollo de conceptualizaciones particulares de la ciencia; se espera que cada TL desarrollado bajo el enfoque de este ensayo pueda contribuir en la construcción progresiva de esta visión.

En tal sentido, de este ensayo se puede decir que al finalizar el TL sobre ondas mecánicas, los estudiantes mostraron un movimiento favorable en su visión acerca de la actividad experimental en la ciencia. Entre los aspectos donde se observa mayor cambio están:

- Su comprensión en relación a la interrelación entre teoría y experimento, modelo y fenómeno, en los diferentes momentos del TL.
- Otro aspecto importante, es que los estudiantes valoraron la producción de tablas, gráficos y transformaciones de los datos como necesario para la solución de la situación propuesta en el TL. Además, la mayoría de los estudiantes (4 de 5) mostró haber comprendido que el dominio metodológico no puede ser abordado mediante algoritmos, ya que las tareas propias de este dominio dependen de la comprensión que se tenga de la situación, del modelo físico con el cual se este analizando y de las conceptualizaciones propias de lo metodológico.
- La valoración de los resultados de un experimento fue diferente entre los estudiantes, si bien todos aceptan que su interpretación solo tiene sentido en un marco conceptual; sólo dos consideraron la posibilidad de reconstruir el modelo en base a los resultados, y de someter los resultados a la consideración de otros grupos. Sin embargo, estos dos estudiantes establecieron una diferencia entre los laboratorios educativos y los laboratorios científicos considerando que en los primeros, los modelos no están en discusión, tienen como referente teorías cuyas consecuencias ya han sido contrastadas experimentalmente con éxito, mientras que en los laboratorios científicos los modelos están en estudio, siendo posible encontrar resultados inesperados.

Esta última apreciación resulta interesante ya que, si bien es cierto que las teorías y modelos que se incluyen en los currículos de física, sobre todo en los primeros años de pregrado, son aquellas que la comunidad científica considera bastante estables y por lo tanto, ya no discute sobre ellas; no es cierto que en los diseños experimentales que se hagan en el laboratorio educativo no puedan surgir resultados inesperados. Lo que sucede es que, por lo general, los docentes preparan actividades experimentales muy controladas y dentro de unos márgenes de implementación que no permiten que estos *resultados inesperados* surjan -los llamados *experimentos que dan-* creando en los estudiantes una percepción equivocada en cuanto al trabajo experimental.

Pareciera entonces relevante, permitir que los estudiantes diseñen los experimentos con lo cual pueden surgir resultados no previstos desde el modelo de referencia; ello llevaría a tener que analizar el grado de correspondencia entre el diseño y el modelo que se este considerando para explicarlo, y en consecuencia, a tomar decisiones para reconstruir el modelo o construir nuevos modelos en atención a los resultados, en vez de intentar *obligar* al experimento a comportarse como el predice modelo.

Tal como lo plantean Latour y Woolgar (1995), en algún momento del quehacer de las comunidades científicas, los datos se transforman en *hechos*, es decir, en enunciados que pierden todos los calificativos temporales y que son aceptados sin necesidad de respaldarlos o soportarlos. Sin embargo, aún en estos casos parece pertinente debatir acerca de la precisión y confiabilidad del TL que se efectúa y analizar el grado de aproximación que tiene con el modelo físico que se ha asumido.

## **CAPÍTULO 9**

### **IMAGEN ACERCA DE LA ACTIVIDAD EXPERIMENTAL EN LA CIENCIA EN ESTUDIANTES UNIVERSITARIOS**

## CAPÍTULO 9

### IMAGEN ACERCA DE LA ACTIVIDAD EXPERIMENTAL EN LA CIENCIA EN ESTUDIANTES UNIVERSITARIOS

#### 9.1 INTRODUCCIÓN

El trabajo experimental es considerado una actividad importante en el proceso de producción de conocimientos dentro de las ciencias experimentales, sin embargo, su concepción varía según distintas perspectivas epistemológicas de la ciencia.

Por otra parte, en la educación en ciencias, las actividades experimentales se consideran propicias para promover en los estudiantes el desarrollo de ideas acerca de la Naturaleza de la Ciencia (NC), dado que la actividad experimental que se desarrolla en la enseñanza, por lo general, es un espacio donde se aprende haciendo. Sin embargo, este *hacer* puede ser muy diverso y parece estar asociado con la visión que se tenga acerca de la ciencia (Moreira y Ostermann, 1993; Lang da Silveira, 1996) y de la enseñanza de la ciencia (Hodson, 1994; Andrés y Riestra 1999; Duschl, 2000), las que, generalmente, no están explícitas ni siquiera para el docente.

La mayoría de los estudios que hemos encontrado relacionados con la visión acerca de la naturaleza de la ciencia de los docentes en servicio (primaria y secundaria) y de los estudiantes de profesorado, han evidenciado que ambos grupos tienen una falta de conocimiento formal sobre el tema y su conceptualización ha sido denominada como empirista ingenua, la cual hemos denominado como concepción estándar, CE (Fernández y Elortegui, 1996; Porlán y otros 1998; Andrés y Riestra, 1999; Abd-El Khalick y Lederman, 2000a; Islas y Pesa, 2001). Por lo tanto, parece interesante indagar de manera específica acerca de la visión de los docentes y estudiantes en relación con la *actividad experimental en la ciencia*, lo que permitirá diseñar ambientes de aprendizaje relacionados con el trabajo de laboratorio que estimulen el desarrollo de concepciones cónsonas con las aceptadas en la actualidad por la comunidad científica.

En este capítulo, teniendo como base el marco referencial teórico-metodológico para el estudio de las concepciones acerca de la naturaleza de *la actividad experimental*

en la ciencia, que se desarrolló en el capítulo 4, se describe un instrumento que ha sido construido para la evaluación de dichas concepciones y la metodología diseñada para el procesamiento e interpretación de resultados. También se exponen los resultados de su aplicación a estudiantes universitarios, obtenidos de la validación empírica del instrumento.

## **9.2 INSTRUMENTO PARA LA DETECCIÓN DE LAS CONCEPCIONES DE LOS ESTUDIANTES ACERCA DE LA ACTIVIDAD EXPERIMENTAL EN LA FÍSICA**

Los procedimientos e instrumentos empleados en el estudio de las concepciones o imagen de los estudiantes acerca de la naturaleza de la Ciencia, NC, han cambiado en el tiempo. Hasta la década de los 80 encontramos instrumentos estandarizados de papel y lápiz, diseñados a partir de modelos teóricos y contruidos con preguntas de respuesta cerrada tales como, afirmaciones asociadas con las diferentes perspectivas epistémicas de la ciencia con un escala de acuerdo/desacuerdo tipo Likert; o enunciados situacionales con un conjunto de opciones para escoger una, donde cada una indicaba alguna tendencia epistemológica establecida teóricamente. Diversos autores han cuestionado la validez de estos instrumentos; entre las razones dadas están: i) obligan a los estudiantes a escoger entre las visiones de los investigadores dejando por fuera la posibilidad de que ellos pongan en evidencia sus propias concepciones, lo que produce ambigüedad; ii) suponen que los significados que los ítem tienen para los estudiantes son similares a los significados de los investigadores que los diseñaron (Ainkenhead y Ryan, 1992; Abd-El Khalick y Lederman, 2000a).

Con miras a resolver este problema de ambigüedad se han propuesto cuestionarios de preguntas con respuestas múltiples cuyas opciones son resultado de estudios empíricos previos. En estos estudios se evalúa la correspondencia entre los significados del investigador y de los estudiantes, utilizando por ejemplo, las estrategias como: la triangulación de respuestas con preguntas en diversos formatos; las entrevistas para la exploración en profundidad de las ideas de los estudiantes, previamente expuestas en cuestionarios de preguntas abiertas.

Ainkenhead y Ryan (1989, citados por Ainkenhead y Ryan en 1992) desarrollaron un cuestionario de preguntas de respuesta múltiple cuyas opciones eran producto de estudios empíricos previos (VOST); además, evaluaron la discrepancia entre los significados mediante la comparación de preguntas en diversos formatos (ibidem). El contenido del instrumento VOST se enmarca en el dominio de la ciencia, la tecnología y la sociedad, y se basa en aspectos de orden epistemológico, social y tecnológico establecidos en la literatura. Este instrumento ha tenido amplia difusión y uso en la investigación educativa. Una variante del VOST es el Cuestionario de Opiniones sobre Ciencia, Tecnología y Sociedad, COCTS, de Vázquez y Manassero (1997, citado en Acevedo, Acevedo, Manassero y Vázquez, 2001), que fue adaptado a la cultura española; los autores introducen el análisis de múltiple respuesta en sustitución de la respuesta única.

Por otra parte, las entrevistas para la exploración de las ideas de los estudiantes acerca de la ciencia resultan ser muy ricas, y además, liberan de los problemas que presentan los instrumentos estandarizados o de pregunta cerrada; sin embargo, resultan altamente costosos debido al tiempo que requiere su aplicación y análisis, por lo que su empleo, generalmente, se restringe a pocos individuos, y se toman como complemento de otras estrategias que permiten recolectar datos de mayor cantidad de personas.

Las tendencias se dirigen hacia el uso de instrumentos de pregunta cerrada cuyas opciones tienen un origen empírico, complementada con entrevistas semiestructuradas (Shapiro, 1996; Ryder y Leach, 2000; Abd-El Khalick y Lederman, 2000a, 2000b). Los autores consideran que este método permite establecer una mayor validez y confiabilidad de los resultados del cuestionario, y además, discriminar los significados de los encuestados de los significados de los investigadores.

Por otra parte, la visión de los estudiantes acerca de la NC parece ser dependiente de: i) el contexto de ciencia, es decir, el contenido o actividad de ciencia a la que se refiere el ítem; ii) la situación en la cual expresa sus ideas. Además, las concepciones epistemológicas de los estudiantes parecen tener impacto en las actividades de investigación que éstos realizan; en tal sentido, se considera pertinente conocer no sólo la acción que una persona realizaría frente a determinada situación científica sino las razones que lo llevan a dicha acción, ya que en ellas se pueden encontrar ideas relacionadas con su visión acerca de la NC (Ryder y Leach, 1999; Bluffer, Allie, Lubben, Campbell, 2001). Por ello, se sugiere el uso de preguntas referidas a un área de

la ciencia en particular (física, sociología, otros) y a una actividad específica (construcción de hipótesis, interpretación de datos, otros). También se sugiere la descripción detallada del momento en el cual se realiza la exploración (Ryder y Leach, 2000).

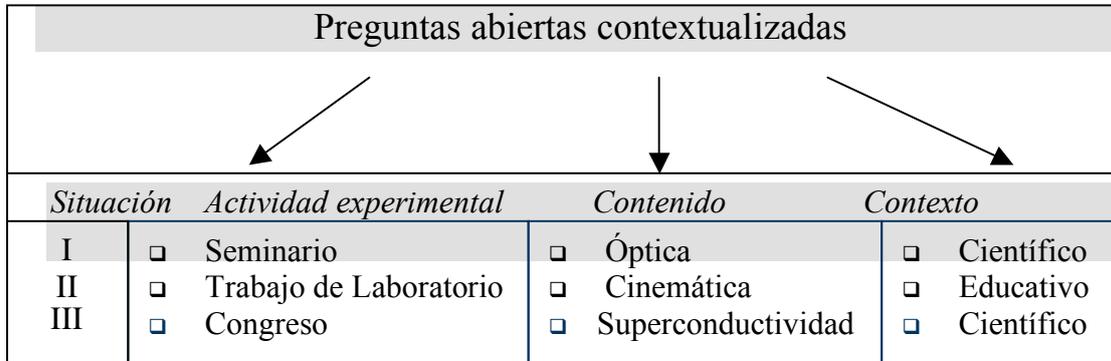
En virtud de lo anterior y atendiendo a los fines de este trabajo, se propone el estudio de las concepciones acerca de la actividad experimental en la física de estudiantes universitarios. Con el objetivo de describir estas concepciones, se han formulado las siguientes preguntas de referencia.

*Para los estudiantes:*

- 1. ¿Qué implica hacer un experimento en física?*
- 2. ¿Cuál es el estatus que le asignan al trabajo de laboratorio en física? ¿Con qué finalidad se realizan experimentos en física?*
- 3. ¿Cómo conciben la relación entre la estructura teórica (teorías, leyes, modelos) y la actividad experimental? ¿Cuáles consideran que son los propósitos de la elaboración de modelos en la física?*
- 4. ¿Qué criterios consideran que emplean los físicos para establecer la validez de los modelos?*
- 5. ¿Qué orienta la observación realizada en el laboratorio (descriptiva, cuantitativa)?*
- 6. ¿Cómo conciben los datos registrados en el laboratorio?*
- 7. ¿Cómo son interpretados los datos experimentales? ¿Cuál es el rol de la creatividad e imaginación del científico en el trabajo de laboratorio?*
- 8. ¿Cuál es la importancia y función del intercambio entre pares sobre resultados y conclusiones obtenidas experimentalmente?*

En atención a las sugerencias anteriores, sobre las características de los instrumentos empleados, se ha diseñado un cuestionario escrito de preguntas abiertas, que se contextualizan con situaciones relacionadas con la actividad experimental referidas a tópicos de la física, tanto del quehacer científico como del quehacer de la ciencia en la escuela (Figura 9-1).

**Figura 9-1.** Estructura general del instrumento: CONCEPCIONES ACERCA DE LA ACTIVIDAD EXPERIMENTAL EN LA FÍSICA, CAEF



### 9.2.1 Descripción del instrumento: Concepciones acerca de la Actividad Experimental en la Física, CAEF

El instrumento: Concepciones acerca de la Actividad Experimental en la Física, CAEF, consta de tres partes o situaciones (Anexo 9-A).

Parte I. Se presenta un resumen de un trabajo de investigación en física (óptica) que había sido expuesto en un seminario celebrado en un centro de investigación y que involucraba actividades de laboratorio en un contexto científico. En relación al texto, se efectúan siete preguntas; cuatro relacionadas con el trabajo experimental reportado, acerca de: i) los propósitos del trabajo experimental, ii) la motivación para su realización, iii) la relación entre modelo y experimento, y iv) la finalidad de la presentación de trabajos entre los pares; y tres preguntas relacionadas con la ciencia en general, sobre la finalidad del trabajo experimental, la relación entre modelo y experimento, y el carácter tentativo del conocimiento científico.

Parte II. Esta sección esta dirigida a explorar las ideas de los estudiantes acerca de las tareas de recolectar, procesar e interpretar datos durante el trabajo de laboratorio, en el contexto de un aula de física. La cuestión propuesta es una adaptación del instrumento descrito por Buffler y otros (2001). En ella se presenta una hipotética situación de un grupo de estudiantes que realiza una actividad de laboratorio clásica en los cursos de

física<sup>1</sup>. Al respecto, en primer lugar, se solicita un plan de trabajo para lograr el objetivo del TL planteado (planificación del experimento). Posteriormente, se describen acciones de estudiantes que tomaron diferentes caminos para la recolección y análisis de datos, respecto de las cuales se solicita que seleccionen la que consideran más adecuada en cada caso y que expresen sus razones.

Parte III. Esta sección del cuestionario es una adaptación del instrumento descrito por Ryder y Leach (2000), el cual está dirigido a explorar el rol de los datos y los modelos teóricos en la interpretación de datos. Los autores presentaban una situación relacionada con los resultados de un experimento y la interpretación de éstos por parte de dos grupos de investigación. Ellos supusieron que el contenido de física de la situación (superconductividad) no era del dominio de los estudiantes a quienes iba dirigido el instrumento, con la intención de evitar que las respuestas se orientarán más por el conocimiento, que por sus concepciones respecto de la ciencia. Además, en el planteamiento no se daban detalles específicos de los modelos teóricos que emplearon los grupos de investigación para la interpretación de los datos con el fin de que los estudiantes no entrasen en su análisis. Las preguntas fueron presentadas con opciones de respuesta que habían sido obtenidas de un estudio piloto previo con preguntas abiertas.

A efecto de la población de nuestro estudio, al cuestionario de Ryder y Leach (2000) se le hicieron las siguientes adaptaciones:

- i) Las preguntas se formularon abiertas, dado que no podemos considerar nuestra población (estudiantes universitarios venezolanos) como equivalente a la original (estudiantes europeos de secundaria superior y universitarios).
- ii) Se eliminó una pregunta (parte 3 de instrumento original).
- iii) Se incorporó una pregunta abierta acerca de cómo interpretarían los datos de un grupo de investigadores, previa a la pregunta en donde se incluían posibles modelos interpretativos.

La información para responder a las preguntas de investigación (pag. 9-4) se obtiene de diversos ítem del cuestionario, con el fin de hacer una triangulación interna. En la figura 9-2 se presenta la correspondencia entre las preguntas de investigación y

---

<sup>1</sup> Caída de una esfera desde una rampa hasta el piso en donde la meta era estudiar la relación entre la altura (distancia entre la mesa y la posición inicial) y la distancia horizontal desde que abandona la rampa hasta que choca con el piso.

los ítem de las tres situaciones del Instrumento CAEF que suministran información relevante acerca de ellas.

El instrumento CAEF fue revisado por tres especialistas (en física y en enseñanza de la física) en cuanto al lenguaje y a la correspondencia entre lo que se desea conocer, y las situaciones y preguntas del instrumento. Posteriormente, se realizó una validación con una muestra de doce (12) estudiantes del profesorado de Física<sup>2</sup>. Cinco de los cuales fueron entrevistados a fin de conocer qué entendían con cada pregunta, lo que permitió mejorar la redacción y profundizar en el significado de lo que estaba expresado en sus respuestas.

**Figura 9-2.** Correspondencia entre el Instrumento CAEF y las Preguntas de Investigación.

PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN	INSTRUMENTO CAEF		
	PARTE I	PARTE II	PARTEIII
<i>PI.01</i>		A	
<i>PI.02</i>	A-E-B	A	
<i>PI.03</i>	C-F-G	A-D.I	C.5-C.6
<i>PI.04</i>	D	D.2	C
<i>PI.05</i>		A-B	
<i>PI.06</i>		B-C	C.1-C.2-C.3-C.4-C.6
<i>PI.07</i>		D.1	A-B-C
<i>PI.08</i>	D	D.2	C.5-C.6-C.7

El instrumento CAEF fue aplicado a un segundo grupo piloto de estudiantes con la finalidad de validar las preguntas y establecer un patrón de categorías para el análisis de las respuestas. Estas fueron interpretadas a la luz de las preguntas de investigación y de la caracterización de la actividad experimental según las dos perspectivas epistemológicas descritas en el capítulo 4, concepción estándar, CE, y concepción no estándar, CNE. Todo ello con la intención de desarrollar un instrumento y una metodología que permitan conocer la visión del estudiante acerca de la actividad experimental en la física.

<sup>2</sup> En Venezuela, la carrera de Profesor de Física es de nivel universitario y tiene una duración de cinco años (diez semestres).

### **9.2.2 Evaluación del Instrumento: Concepciones acerca de la Actividad Experimental en la Física, CAEF, con un grupo piloto.**

El grupo de estudiantes para el estudio piloto de validación del CAEF fue de treinta y siete (37) estudiantes universitarios de distintas carreras (física y docencia en física), con diferente experiencia en cursos de laboratorio de física. El instrumento se aplicó entregando cada parte en forma consecutiva. Se midió el tiempo que cada participante empleó en contestarlo y se estableció como resultado de esta prueba, un tiempo promedio de 45' para completarlo.

Las respuestas a las preguntas abiertas fueron categorizadas; y se asignó a cada categoría uno de las tres cualificaciones siguientes: CE, CNE y N según las respuestas se ajustaran a las perspectivas epistémicas denominadas CE y CNE, o a ninguna de ellas (valor neutro N). Posteriormente, un grupo de cinco profesores de física cursantes de la maestría en Enseñanza de la Física, colaboró como covalidador de este trabajo. Para validar las categorizaciones, se les dieron a dichos docentes, las respuestas por ítem de los 37 participantes y el conjunto de categorías establecidas para cada pregunta, con el fin de que establecieran una asociación entre ambas. También se les pidió que opinaran acerca de la cualificación (CE, CNE ó N) asignada a cada una de las categorías. Los resultados producidos por este grupo de profesores fueron discutidos en colectivo, con lo que se llegó por consenso al sistema de categorías que se presentan en este informe.

La interpretación de los resultados se hizo en primer lugar, por situación (parte I, II y III). Y en segundo lugar, mediante un análisis global en atención a las preguntas de investigación. Este procedimiento permitió analizar la concepción de un individuo o de un colectivo.

A continuación se exponen los resultados obtenidos con el grupo piloto en cada una de las situaciones del cuestionario.

### **9.2.3 Análisis de los resultados por cada Situación, en cuanto a las Concepciones acerca de la Actividad Experimental en la física de estudiantes universitarios**

El instrumento CAEF presenta tres situaciones, dos referidas al quehacer de la ciencia y una en el contexto educativo. Los resultados con estudiantes universitarios en cada situación se presentan a continuación.

### 9.2.3.1 Resultados en la Situación I: Parte I del CAEF

I. Con el fin de dar respuesta a la pregunta: PI-2 ¿con qué finalidad se realizan los experimentos en física? se tomaron las cuestiones A y E, de la parte I del instrumento. La categorización de las respuestas obtenidas para cada una de ellas se resume en los cuadros 9-1 y 9-2. Al integrar los resultados de ambas preguntas se tiene que los propósitos generales que más destacan<sup>3</sup> entre los estudiantes encuestados fueron:

- Evaluar la aplicación de las ecuaciones (N)
- Obtener valores de constantes o propiedades (CNE)
- Comprobar o refutar teorías (pocos lo consideran como único propósito) (CE)
- Verificar la validez de las aproximaciones, leyes o ecuaciones (22%) (CNE)

Además, un 16 % (6) consideró que el propósito del laboratorio era único. Y aunque el 73% (27) aceptó la pluralidad de propósitos, el 43% (16) no los hace explícitos.

**Cuadro 9-1.** Categorías de respuestas a la pregunta A de la Parte I del instrumento CAEF, recogidas en el estudio piloto (N: 37) (CE: concepción estándar; CNE: Concepción no estándar; N: neutral)

*Pregunta A:* ¿Cuáles consideras que fueron los propósitos del trabajo experimental descrito en el resumen?

Categorías	N	%	Calif.
Estudiar o aplicar las ecuaciones	13	35	N
Determinar una metodología para aplicar las ecuaciones.	5	14	N
Caracterizar (determinar propiedades) un material (películas); tomando como base el modelo. Obtener aproximaciones de constantes ópticas	16	43	CNE
Determinar la validez de: las aproximaciones, las leyes o las ecuaciones.	8	22	CNE
Verificar que tan óptimas son las ecuaciones.	1	3	CE
Comprobar hipótesis derivadas del modelo y efectuar correcciones a éste	2	5	CNE
Énfasis en observar el fenómeno (refracción)	3	8	CE
Énfasis en lo tecnológico	3	8	N
Estudiar relaciones	3	8	N

<sup>3</sup> Se tomó como criterio, porcentajes superiores a 20%

**Cuadro 9-2.** Categorías de respuestas a la pregunta *E* de la Parte I del instrumento CAEF, recogidas en el estudio piloto (N: 37). (CE: concepción estándar; CNE: Concepción no estándar; N: neutral)

*Pregunta E:* Referido a otros trabajos de Física ¿consideras que el trabajo experimental puede tener otros propósitos?

Categorías entre los argumentos	Si	%	No	%	Calif.
Comprobar o refutar teorías, leyes	9	24	3	8	CE
Analizar y comparar resultados con otros trabajos	2	5	0	0	CNE
Encontrar, descubrir nuevas leyes o relaciones	5	14	0	0	CE
Desarrollar avances tecnológicos	2	5	0	0	N
Propósito educativo (motivar, comprobar o aplicar teoría, aprender métodos)	4	11	2	5	--
Respuestas singulares	0	0	2	5	CNE
<i>Totales</i>	27	73	6	16	--
<i>No contesta (4) o no argumenta</i>	16	43	--	--	--

NOTA. La sumatoria de argumentos en: Si o No, puede ser mayor que los totales en cada una de ellas.

Estos resultados se complementan con las respuestas de la pregunta IB, referida al origen de la idea de un experimento. La categorización de las respuestas obtenidas en este ítem, se resumen en el Cuadro 9-3.

**Cuadro 9-3.** Categorías de respuestas a la pregunta *B* de la Parte I del instrumento CAEF, recogidas en el estudio piloto (N: 37). (CE: concepción estándar; CNE: Concepción no estándar; N: neutral)

*Pregunta B:* ¿De dónde pudo haber surgido la idea del trabajo experimental descrito en el resumen?

Categorías	N	%	Calif.
Derivado del análisis de la teoría o modelo	11	30	N
Inquietud por conocer, descubrir, demostrar ecuaciones, demostrar avance teórico	10	27	CE
Observaciones. Estudios previos	8	22	N
Curiosidad	2	5	CNE
Necesidad de mejorar la calidad de vida	1	3	CNE
Necesidad del investigador	4	11	CNE
Resultados derivados de otros campos: ingeniería	1	3	N
<i>Ambigua</i>	6	16	--

Estos resultados muestran que para los estudiantes encuestados, *un trabajo experimental puede surgir por diversas razones*, destacando, principalmente, las siguientes:

- Un experimento surge del análisis de un modelo teórico. (30%) (N)
- Un experimento surge de la inquietud por: conocer, descubrir, demostrar. (27%) (CE)

En síntesis, de la situación I se puede decir que entre estos estudiantes predominan la concepción estándar y la neutral ante la pregunta *¿Con qué finalidad se realizan los experimentos en física?*.

**II.** Para conocer la opinión de los estudiantes sobre la pregunta: PI-3 *¿Cómo conciben la relación entre la estructura teórica (teorías, leyes, modelos) y la actividad experimental?* se han considerado las cuestiones C, F y G, de la parte I del instrumento CAEF. Los resultados agrupados en categorías por cada pregunta se presentan en los cuadros 9-4, 9-5 y 9-6.

**Cuadro 9-4.** Categorías de respuestas a la pregunta C de la Parte I del instrumento CAEF, recogidas en el estudio piloto (N: 37). (CE: concepción estándar; CNE: Concepción no estándar; N: neutral)

*Pregunta C:* ¿De qué manera se relacionan la teoría y el experimento en el trabajo descrito en el resumen?

Categorías	N	%	Calif.
Con los experimentos se construye, se demuestra (comprueba o verifica) la teoría	8	21	CE
La teoría es para interpretar resultados experimentales	2	5	CNE
El trabajo experimental depende de la existencia de una teoría	3	8	CE
Los resultados de la teoría se comparan (contrastan) con los experimentales	3	8	CNE
El experimento aporta metodología para implementar la teoría	3	8	CE
Los experimentos son aplicaciones de la teoría	5	14	N
Existe una relación bidireccional entre Teoría y Experimento	2	5	CNE
<i>Ambiguas</i>	5	14	--
<i>No Contesta</i>	6	16	--

**Cuadro 9-5.** Categorías de respuestas a la pregunta F de la Parte I del instrumento CAEF, recogidas en el estudio piloto (N: 37). (CE: concepción estándar; CNE: Concepción no estándar; N: neutral)

*Pregunta F:* ¿Piensas que en todos los casos la teoría se relaciona con el trabajo experimental de la misma manera que en el caso descrito en el resumen?

Categorías entre los argumentos	Si	%	No	%	Calif.
Los experimentos llevan a cambios en las teorías o demandan nuevos modelos.	0	0	5	14	CNE
La teoría es necesaria para los experimentos	17	46	1	3	N
Sin teoría no hay experimento y sin éste no hay teoría	2	5	0	0	CE
Los datos llevan a las teorías ó las teorías dependen de los experimentos	2	5	0	0	CNE
No toda teoría requiere de experimentación	0	0	1	3	N
Individualidades	0	0	1	3	N
<i>Responde pero No argumenta</i>	6	16	2	5	--
<i>Totales</i>	27	73	10	27	--

Un 73% (27) considera que la relación teoría - experimento es única, la cual, para la mayoría (46%) consiste en que *la teoría resulta necesaria para realizar los experimentos* (Cuadro 9.5). Sin embargo, al igual que en la sección I, un grupo de estudiantes (21%) considera a los experimentos como necesarios para construir, verificar o demostrar la teoría (Cuadro 9.4).

Cabe destacar que sólo dos estudiantes consideraron la relación teoría-experimento como bidireccional: *la teoría fundamenta y guía el experimento, los resultados del experimento son interpretados con la teoría, lo cual puede implicar modificaciones en éstas.*

Las respuestas a la pregunta G de la parte I del instrumento CAEF (Cuadro 9-6), completan las opiniones que predominan en el grupo. Se observa que un 16% de los estudiantes (6) no acepta la posibilidad de cambio en las teorías, prevaleciendo en ellos el criterio de la autoridad de los científicos que las desarrollaron. Mientras que un 76% (28) deja abierta la posibilidad de la transformación en las teorías; entre los cuales, un 43% (16) piensa que esto es factible cuando la teoría deja de explicar los fenómenos, lo cual ocurre por los avances tecnológicos que permiten mejorar la precisión; y un 14% (5) cree que los cambios también pueden ser producto del desarrollo tanto de la teoría como de la metodología.

**Cuadro 9-6.** Categorías de respuestas a la pregunta G de la Parte I del instrumento CAEF, recogidas en el estudio piloto (N: 37). (CE: concepción estándar; CNE: Concepción no estándar; N: neutral)

*Pregunta G:* ¿Consideras que en las teorías, leyes y modelos desarrolladas por los científicos se realizan cambios?

Categorías	Si	%	No	%	Clas
Validas para siempre, ya que lo establecieron los científicos	0	0	6	16	CE
Crecimiento en lo teórico o lo metodológico	5	14	0	0	CNE
Cuando deja de explicar un fenómeno, por avances experimentales (tecnológicos, precisión,..)	16	43	0	0	N
<i>Ambiguas</i>	7	19	0	0	--
<i>Totales</i>	28	76	6	16	--
<i>No contesta</i>	3	8	--	--	--

En síntesis, de las respuestas a la pregunta *¿Cómo conciben la relación entre la estructura teórica (teorías, leyes, modelos) y la actividad experimental?*, de la situación I, se puede decir que en los estudiantes del estudio predomina la noción de que la teoría

es necesaria para la realización del experimento y que los avances tecnológicos permiten mayor precisión experimental, con lo que es posible que las teorías dejen de explicar los fenómenos. Sólo una minoría explicita la existencia de una interrelación teoría-experimento.

**III.** Por último, la cuestión *D* de la Parte I del instrumento CAEF permite conocer la opinión de los estudiantes acerca de: PI-4 *¿Qué criterios consideran que emplean los físicos para establecer la validez de los modelos?* y PI-8 *¿Cuál es la importancia y función del intercambio entre pares sobre resultados y conclusiones obtenidas experimentalmente?* Los resultados obtenidos con esta pregunta *D* se presentan en el Cuadro 9-7. En relación a la primera pregunta las respuestas obtenidas no ponen en evidencia si los estudiantes consideran o no el consenso del colectivo como un criterio para validar o aceptar un modelo.

Por otra parte, se observa que para estos estudiantes, lo primordial de estos encuentros es difundir los resultados (46%, 17), y en menor proporción compartir entre pares para tener una evaluación constructiva (25%, 9). En general, el grupo valora el intercambio de información en la comunidad científica.

**Cuadro 9-7.** Categorías de respuestas a la pregunta *D* de la Parte I del instrumento CAEF, recogidas en el estudio piloto (N: 37). (CE: concepción estándar; CNE: Concepción no estándar; N: neutral)

*Pregunta D:* En tu opinión, ¿cuáles son las intenciones de estos investigadores al realizar los seminarios?

Categorías	N	%	Calif.
Dar a conocer, mostrar. Informar, explicar el trabajo y los resultados	13	35	CE
Buscar opiniones; aceptar sugerencias, recomendaciones; mejorar procesos	5	14	CNE
Difundir el trabajo con intención de mejorarlo	4	11	CNE
Colaborar en el descubrimiento de nuevas cosas. Aportar conocimientos nuevos	2	5	N
Demostrar lo correcto. Comprobar teorías	2	5	CE
Responde desde la perspectiva del aprendiz o del profesor	12	32	N:11 CE:1

### 9.2.3.2 Resultados en la Situación II: Parte II del CAEF

I. Las respuestas a la primera cuestión de la Parte II del instrumento CAEF, permiten dar cuenta de varias preguntas de referencia:

*PI-1. ¿Qué implica hacer un experimento en física?*

*PI-2. ¿Cómo conciben la relación entre la estructura teórica (teorías, leyes, modelos) y la actividad experimental?-¿Qué criterios consideran que emplean los físicos para establecer la validez de los modelos?*

*PI-3. ¿Cuál es el estatus que le asignan al trabajo de laboratorio en física?-¿Con qué finalidad se realizan experimentos en física?*

*PI-5. ¿Qué orienta la observación realizada en el laboratorio (descriptiva, cuantitativa)?*

En primer lugar, se clasificó el contenido de las respuestas, en atención a *cuatro (4) elementos* relevantes en el diseño de un experimento: *medición, rol de la teoría, organización y transformación de datos, análisis y decisiones*. Posteriormente, del conjunto de respuestas para cada elemento, se estableció una categorización de las acciones, que se expone en el Cuadro 9-8.

Con este conjunto de categorías se evaluó la respuesta de cada estudiante, y se estableció el *tipo de diseño* que exponía, tomando los criterios siguientes:

*Diseño Completo*. Se considera completo si en el diseño se incluyen acciones de al menos los elementos I (medición), II (rol de la teoría) y IV (análisis y decisiones).

*Diseño Incompleto*. Se considera incompleto aquel diseño que incluye acciones con cualquier otra combinación de los elementos indicados.

Con estos criterios el análisis de los resultados arrojó que entre los 37 estudiantes hay:

- 5 diseños Completos: el 14% (Cuadro 9-9).
- 22 diseños Incompletos: el 59% (Cuadro 9-10)
- 10 diseños ambiguos o no responde: el 27%

A pesar de que la situación de laboratorio presentada en el cuestionario era típica de los cursos universitarios, se observa que la mayoría de los estudiantes del estudio

piloto presentó un diseño incompleto que se centra en acciones de medición y sin relación con los modelos teóricos (59%).

Derivado de la clasificación asignada a las acciones mostradas en el Cuadro 9-8, se analizaron las acciones específicas en cada respuesta de los diseños completos, lo que permitió asignarle una clasificación global en función de las perspectivas epistémicas (CE: concepción estándar; CNE: Concepción no estándar; N: neutral) (Cuadro 9-9). Así se obtuvo que de cinco (5) de diseños completos, cuatro (4) pueden considerarse dentro de la concepción no estándar CNE (Cuadro 9-9).

**Cuadro 9-8.** Categorías derivadas de las respuestas a la pregunta A de la Parte II del instrumento CAEF, recogidas en el estudio piloto, en función de cuatro elementos establecidos para el diseño. (CE: concepción estándar; CNE: Concepción no estándar; N: neutral)

*Pregunta A:* Si estuvieras en ese curso ¿cuál sería tu plan de trabajo para lograr el objetivo? (refiriéndose al problema experimental<sup>4</sup> planteado)

ELEMENTO	Código	Categoría: Descripción de la Acción	Clasificación
I Medición	A.1	Señala qué medir (un h y d)	CE
	A.2	Señala qué medir (diferentes h y d)	CNE
	A.3	Señala qué y cómo medir (diferente h y d)	CNE
	G	Toma muchos datos	N
II Rol de la teoría	B.1	Establece o aplica modelo teórico y deriva ecuaciones.	CNE
	B.2	Plantea hipótesis (ecuaciones) derivadas de la teoría	CNE
	B.3	Considera valores teóricos como lo correcto, lo válido	CE
	B.4	Busca en la teoría aportes para el trabajo	CNE
III Organización y	C	Indica como organizar datos (tablas)	N
Transformación de los datos	D	Plantea la acción de Graficar (y/o las transformaciones de las graficas)	N
IV Análisis y decisiones	E.1	Plantea hipótesis derivadas de los datos medidos	CE
	E.2	Propone cálculos (no señala el origen de las relaciones)	CE
	E.3	Deriva conclusiones de cada par h-d	CE
	E.4	Compara valores experimentales con valores teóricos	CNE
	E.5	Deriva ecuaciones de los datos	CNE
	E.6	Observa los datos, para describir (estimar) relaciones	N
	E.7	Revisa la teoría a partir de los datos	CNE
	F.1	Propone inferir relaciones de las gráficas pero no señala cómo.	N
Respuestas imprecisas	O	Otro (respuestas imprecisas)	

<sup>4</sup> Caída de una esfera desde una rampa hasta el piso en donde la meta era estudiar la relación entre la altura (distancia entre la mesa y la posición inicial) y la distancia horizontal desde que abandona la rampa hasta que choca con el piso.

Por otra parte, los diseños incompletos (22) se ubicaron dentro de la concepción estándar, CE. Además, entre ellos se distinguen dos énfasis (Cuadro 9-10 y 9-11):

- **A:** Los que son independientes de los modelos (CE) (19; 51%), de ellos, unos diseños se centran en el qué medir (B) (12; 63%), y otros valoran los datos como fuente para establecer relaciones (C) (7; 37%)
- **D:** Los que consideran la relación teoría-experimento sólo para establecer el qué medir (CE) (3; 8%,)

**Cuadro 9-9.** Caracterización de los cinco (5) diseños completos en función de las acciones específicas clasificadas epistemológicamente (Cuadro 9-8) según las respuestas a la pregunta A de la Parte II del instrumento CAEF, en el estudio piloto (N:37).

*Pregunta A:* Si estuvieras en ese curso ¿cuál sería tu plan de trabajo para lograr el objetivo? (refiriéndose al problema experimental planteado)

I	II	III	IV	Clasificación Predominante
(A.1) CE	(B.1) CNE	-	(E.4) CNE	CNE
(A.2) CNE	(B.1-B.3) N	(D) N	(E.4) CNE	CNE
(A.2) CNE	(B.2) CNE	-	(E.4) CNE	CNE
(A.2) CNE	(B.4) CNE	(C) N	(E.2) N	CNE
(G) N	(B.1) CNE	-	(E.6) N	N

Nota: Las siglas entre paréntesis corresponden a las categorías de acciones presentadas en el Cuadro 9-8

**Cuadro 9-10.** Tipos de diseños Incompletos (N: 22) en función de las acciones específicas por cada elemento del diseño (Cuadro 9-8). Respuestas a la pregunta A, Parte II del instrumento CAEF, recogidas en el estudio piloto (N:37).

ELEMENTOS DEL DISEÑO														Categoría
I	I	I	I	II	II	III	III	IV	IV	IV	IV	IV	IV	
			G							E.3				A: B
			G											A: B
	A.2													A: B*
	A.2		G											A: B
		A.3												A: B
		A.3					D							A: B
A.1									E.2					A: B
	A.2						D				E.6		F.1	A: C
	A.2		G			C		E.1			E.6			A: C
											E.6			A: C
		A.3									E.6			A: C
A.1									E.2			E.7		A: C
A.1			G								E.6			A: C
	A.2						D						F.1	A: C
	A.2			B.1										D
	A.2				B.2									D
	A.2		G		B.2									D

A: B Diseños independientes de los modelos y centrados en qué medir.

A: C: Diseños independientes de los modelos que valoración los datos como fuente de relaciones y ecuaciones.)

D: Diseños que consideran la relación teoría-experimento sólo para establecer el qué medir.

\* Seis casos con estas características.

**Cuadro 9-11.** Categorización y clasificación de los diseños Incompletos (N: 22) en función de las acciones específicas y visión epistemológica (Cuadro 9-8) según las respuestas a la pregunta *A* de la Parte II del instrumento CAEF, recogidas en el estudio piloto (N:37).

Clasificación excluyente de diseños Incompletos	N	Subcategoría	N	Clasificación Predominante
A: Independientes de los modelos	19	B: Centrados en qué medir	12	CE
		C: Valoración de la data como fuente de relaciones y ecuaciones	7	CE
D: La relación teoría-experimento es solo para establecer qué medir	3	-----	--	CE

De los resultados obtenidos en esta muestra, como respuesta a las preguntas de investigación, se puede decir: *diseñar un experimento significa, fundamentalmente, establecer qué medir. Además, para la realización de esta tarea la relación entre teoría-experimento es necesaria como referente a comprobar; ya que las observaciones están guiadas por la intuición y las reglas de medición; y con los datos se describen relaciones entre variables.*

**II.** Los ítem *B* y *C* de la Parte II del instrumento CAEF permiten evidenciar cómo conciben los datos, lo que corresponde a las preguntas de investigación:

*PI-5. ¿Qué orienta la observación realizada en el laboratorio (descriptiva, cuantitativa)?*

*PI-6. ¿Cómo conciben los datos registrados en el laboratorio?*

Los resultados en estos dos ítem se sintetizan en los cuadros 9-12 y 9-13. Se encontró que para este grupo, si bien la mayoría concuerda en que una sola medida no es suficiente (87%) y expresa criterios relacionados con la validez y fiabilidad de los datos (66%), no es evidente si estos argumentos reflejan un aprendizaje de reglas o un conocimiento con significado, ya que en la pregunta *C* (Cuadro 9-13) se encontró que sólo el 24% propuso como más conveniente, el uso del valor promedio con su error para representar el conjunto de medidas dado. Parece entonces que predomina la norma de hacer muchas medidas para poder encontrar el *valor correcto*, lo que estaría enmarcado en una concepción estándar de la ciencia (CE).

**Cuadro 9-12.** Categorías de respuestas a la pregunta *B* de la Parte II del instrumento CAEF, recogidas en el estudio piloto (N: 36). (CE: concepción estándar; CNE: Concepción no estándar; N: neutral)

*Pregunta B:* ¿Con quién estas de acuerdo? ¿Por qué? (se refiere a las tres posibles acciones enunciadas en la pregunta: *medir una sola vez (E3)*, *medir otra vez para asegurarse (E2)*, *medir varias veces (E1)*)

Categorías de argumentos	N	%	Acción	Calif.
Tomar medidas de más pares h-d para poder estudiar la relación entre ellas	2	6	Ninguno	CNE
Mas exactitud	1	3	E1	CNE
Basta para aplicar la formula	2	6	E2	CE
Disminuir error, mejor resultado, fiabilidad	7	19	E1	CNE
Es necesario obtener el promedio	4	11	E1	CNE
Mas precisión	4	11	E1	N
Asegurarse de la medida correcta elimina equivocaciones o factores extraños	8	22	E1:7 E3:1	CE
Otras respuestas (identificar factores extraños, ver variabilidad de la medida,	7	19	E1:6 E3:1	CE:2;CNE:4 CNE:1
<i>No contesta</i>	3	8		--

Ninguno: es una nueva opción de respuesta surgida de las respuestas.

E1: 75%, E2: 6%, E3: 6%, Ninguno: 6%

**Cuadro 9-13.** Categorías de respuestas a la pregunta *C* de la Parte II del instrumento CAEF, recogidas en el estudio piloto (N: 36). (CE: concepción estándar; CNE: Concepción no estándar; N: neutral)

*Pregunta C:* ¿Cómo presentarías el resultado si fueses miembro del grupo?

Categorías	N	%	Calif.
Sumatoria	1	3	CE
Promedio	11	30	CE
Promedio con el error	9	24	CNE
Plantea sólo una reorganización física	4	11	CE
Gráfica de barras	3	8	N
Otras respuestas singulares	3	8	N
No responde	6	16	--

**III.** El ítem *D.1* de la Parte II del instrumento CAEF esta relacionada con la interpretación de conjuntos de pares de datos *h-d* representados en graficas x-y (PI.7), con lo cual también se puede observar cómo ven la interrelación teoría-experimento en esta tarea (PI.3). Entre las respuestas se encontró un grupo que se refería a aspectos relacionados con la construcción del grafico, y otro a la interpretación propiamente dicha. Los resultados se resumen en el Cuadro 9-14.

De los resultados se tiene que un gran número de estudiantes (46 %) no responde a la pregunta planteada, lo cual puede ser un indicador de que esta tarea propia de la actividad experimental no tiene significado, y por ende, no saben qué hacer. Un 19% considera que la relación funcional a establecer surge de la observación del conjunto de datos, mientras que 14% considera necesario establecer una relación funcional (modelo) derivada de alguna teoría para interpretar los conjuntos de datos. Estos resultados concuerdan con lo obtenido en el ítem A de la parte II (Cuadro 9-10)

**Cuadro 9-14.** Categorías de respuestas a la pregunta *D.1* de la Parte II del instrumento CAEF, recogidas en el estudio piloto (N: 36). (CE: concepción estándar; CNE: Concepción no estándar; N: neutral)

*Pregunta D.1:* Indica lo qué debería hacer cada grupo para interpretar los datos a fin de lograr el objetivo? (los datos de dos supuestos grupos de estudiantes aparecen en gráficas, en uno solo están los puntos de los datos y se observan mas dispersos (C), mientras que el otro gráfico tiene representadas las barras de error de las medidas y se observan bastante alineados (D))

<b>Categorías de recomendaciones referidas a la construcción de la gráfica.</b>	<b>N</b>	<b>%</b>	<b>Calif.</b>
Considera el conjunto de datos del grupo D como perfecto o mejor	2	5	CE
Recomienda al grupo C mostrar errores en gráfica	2	5	N
Recomienda al grupo C tomar más datos	2	5	N
<b>Categorías de recomendaciones referidas a la interpretación de la gráfica.</b>			
Supone una relación (lineal o parabólica) derivada de los datos, y calcula pendiente o establece relación funcional	7	19	CE
Establece una relación teórica y analiza la relación funcional entre los datos según este modelo	5	14	CNE
Respuestas varias (describe el grafico, corrección de estilo del grafico)	6	16	CNE:1 N:5
No responde	17	46	--

**IV.** Por ultimo, el ítem *D.2* de la parte II del instrumento CAEF, esta relacionada con la conveniencia de interactuar entre pares (PI.8), en este caso la situación se contextualiza en el ámbito educativo; este ítem también está dirigido a conocer su opinión en cuanto al rol de la comunidad para validar resultados y modelos (PI.4).

Las opiniones de los estudiantes en relación a estos aspectos se presentan categorizadas en el Cuadro 9-15. Al igual que ocurrió en el ítem *D* de la parte I (Cuadro 9-7) la mayoría de los estudiantes valora las exposiciones entre grupos acerca de los resultados, pero un grupo minoritario (16%) las considera útiles para lograr una coevaluación constructiva del trabajo.

Un 54% considera que esta actividad permite llegar a la respuesta correcta, a la conclusión única; probablemente, influenciados por el hecho de que en el aula, por lo general, las situaciones de laboratorio que se plantean están dirigidas a comprobar relaciones que se aprendieron en cursos de teoría y que se consideran incuestionables. Este énfasis en la enseñanza fomenta el desarrollo de una concepción estándar de la ciencia (CE).

**Cuadro 9-15.** Categorías de respuestas a la pregunta D.2 de la Parte II del instrumento CAEF, recogidas en el estudio piloto (N: 36). (CE: concepción estándar; CNE: Concepción no estándar; N: neutral)

*Pregunta D.2:* Alguien propone que los grupos C y D comparen y discutan sus resultados ¿qué opinas de esta sugerencia?

<b>Categorías de opiniones</b>	<b>N</b>	<b>%</b>	<b>Calif.</b>
Buscar opiniones; aceptar sugerencias, recomendaciones; mejorar procesos, contrastar condiciones. Pluralidad	6	16	CNE
Discutir para llegar a una (buena) conclusión única	16	43	CE
Discriminar cuál grupo fue mejor (más preciso, correcto) pensado en una solución correcta	4	11	CE
No contesta	11	30	--

### 9.2.3.3 Resultados en la Situación III: Parte III del CAEF

El planteamiento de la Parte III del CAEF esta dirigido a conocer lo que implica y significa para los estudiantes la interpretación de los datos experimentales. La primer cuestión solicita de manera abierta que indique qué hacer para interpretar un conjunto de datos que se representan en un grafico  $x$ - $y$ . En la segunda cuestión se pide la opinión acerca de las interpretaciones dadas por dos grupos de investigadores a los datos anteriores, donde cada uno emplea un modelo diferente para contrastar los resultados; y los modelos son descritos mediante una curva sobre el mismo grafico  $x$ - $y$  en que se representaron los datos. En la última cuestión se plantea una serie de acciones a tomar en cuanto para la interpretación de los datos y el establecimiento de conclusiones, ante las cuales los estudiantes deben decir si están o no de acuerdo y por qué. Las respuestas a cada pregunta fueron categorizadas, lo que se resume en los cuadros 9-16, 9-17 y 9-18.

De estas cuestiones se extrae información acerca de la opinión de los estudiantes en relación con las preguntas de investigación 3, 4, 6, 7 y 8, que presentamos a continuación:

PI. 3. *¿Cómo conciben la relación entre la estructura teórica (teorías, leyes, modelos) y la actividad experimental? ¿Cuáles consideran que son los propósitos de la elaboración de modelos en la física?*(ítem C(5-6))

PI. 4. *¿Qué criterios consideran que emplean los físicos para establecer la validez de los modelos?* (ítem C)

PI. 6. *¿Cómo conciben los datos registrados en el laboratorio?* (ítem C(1-2-3-4-6))

PI. 7. *¿Cómo son interpretados los datos experimentales? ¿Cuál es el rol de la creatividad e imaginación del científico en el trabajo de laboratorio?* (ítem A-B-C)

PI. 8. *¿Cuál es la importancia y función del intercambio entre pares sobre resultados y conclusiones obtenidas experimentalmente?* (ítem C(5-6-7))

Los resultados derivados de la cuestión *A* del CAEF (Cuadro 9-16) ratifican que estos estudiantes no tienen dominio de la tarea de interpretar datos (54% no responde). Sólo el 25% responde con alguna acción sugerida y finalidad, de los cuales el 14% deriva de los datos una relación y el 11% plantea la contrastación entre modelo y experimento.

**Cuadro 9-16.** Categorías de respuestas a la pregunta *A* de la Parte III del instrumento CAEF, recogidas en el estudio piloto (N: 37). (CE: concepción estándar; CNE: Concepción no estándar; N: neutral)

*Pregunta A:* ¿Qué podría hacer el grupo JOULE para interpretar estos datos?

Categoría de finalidad de la ACCIÓN		Verificar predicciones, sintetizar los datos, ajuste de tendencias, CNE	Llegar a conclusiones sobre la relación Resistencia-Temperatura, CE
<b>Categorías de acciones sugeridas</b>	<b>N (%)</b>		
Establece una relación a partir de los datos en el gráfico, CE	5 (14%)	1	4
Comparar la curva con modelos teóricos, CNE	4 (11%)	2	2
Varios (sugerencias de procedimiento experimental, trazado de gráfica, otras)	8 (22%)	--	1
<i>No responde</i>	20 (54%)	<i>No contesta</i>	28 (76%)

En relación con la opinión ante las interpretaciones expuestas por los dos grupos de investigadores en la situación presentada, se resumen los resultados en el Cuadro 9-17. Se observa que el 19% invalida alguna de las dos interpretaciones sin criterios claros o pertinentes a la situación, lo que parece tener implícita la creencia de un resultado único y verdadero, tal como se encontró en los resultados del ítem D.2 (Cuadro 9-15); y sólo el 14% acepta la posibilidad de tener dos interpretaciones. Nuevamente, se encuentra que un 54% no responde.

**Cuadro 9-17.** Categorías de respuestas a la pregunta *B* de la Parte III del instrumento CAEF, recogidas en el estudio piloto (N: 37) (CE: concepción estándar; CNE: Concepción no estándar; N: neutral)

*Pregunta B: ¿Que opinas acerca de estas dos interpretaciones?*

Categorías de respuestas	N	%	Calif.
Considera que la curva interpretativa del grupo Joule describe mejor los datos	3	8	CE
Considera que la curva interpretativa del grupo Watt describe mejor los datos	3	8	CE
Invalida al grupo Watt, porque no incluye el dato Resistencia cero	1	3	CE
Acepta ambas interpretaciones	5	14	CNE
Respuestas singulares: Propone otro grupo; son semejantes; revisarlo para que sean iguales.	5	14	CE:1 CNE:1 N:3
<i>No responde</i>	20	54	--

La pregunta *C* de la parte III fue respondida por pocos estudiantes (promedio 59%) (Cuadro 9-18). Entre los que responden se observa un predominio en opiniones que se califican dentro de la concepción estándar, CE, como por ejemplo: *esperar una respuesta única y verdadera; no aceptar múltiples interpretaciones de los datos; recoger más datos para reducir la brecha entre el modelo y los datos.*

En atención a las preguntas de investigación se tiene que el ítem *C* del instrumento permite concluir que para este grupo de estudiantes: la teoría es sólo un referencial y hay que lograr que los datos se aproximen a él, para lo cual es conveniente tomar más datos y disminuir el error; no tienen claridad en cuanto al rol de los modelos y su validación. Los datos en el laboratorio son independientes de la teoría y deben ser muchos; además, de ellos deben surgir conclusiones y generalizaciones únicas. Interpretar los datos es una tarea que dominan poco estos estudiantes. Y el intercambio

entre pares es necesario para llegar a establecer cuál es la respuesta correcta o los resultados válidos.

**Cuadro 9-18.** Categorías de respuestas a la pregunta C de la Parte III del instrumento CAEF, recogidas en el estudio piloto (N:37). (CE: concepción estándar; CNE: Concepción no estándar; N: neutral)

*Pregunta C:* Sugerencias dadas por la comunidad reunida. Indicar acuerdo o desacuerdo justificado

1 Bosquejar una conclusión, basada en los datos disponibles, considerando que el grupo JOULE los ha explicado correctamente. (responden: 16)			
<i>Categorías de respuesta</i>	<i>Acuerdo</i>	<i>Desacuerdo</i>	<i>Indiferente</i>
Discernir cuál es la correcta internamente o con otros trabajos CE	--	1	2
Hay que comparar CE	--	2	--
Acepta varias interpretaciones como posibles CNE	--	3	--
No avala la interpretación o los datos CE	--	4	--
Una conclusión única es necesaria. CE	1	--	1
<i>No argumenta</i>	2	--	--
2 Bosquejar una conclusión, basada en los datos disponibles considerando que el grupo WATT los ha explicado correctamente (responden: 15)			
<i>Categorías de respuesta</i>	<i>Acuerdo</i>	<i>Desacuerdo</i>	<i>Indiferente</i>
Discernir cuál es la correcta internamente o con otros trabajos CE	2	1	--
Hay que comparar CE	1	2	3
Acepta varias interpretaciones como posibles CNE	--	4	--
No avala la interpretación o los datos CE	--	1	--
<i>No argumenta</i>	1	--	--
3 Coleccionar más datos para demostrar más allá de la duda razonable qué grupo está en lo correcto (responden: 16)			
<i>Categorías de respuesta</i>	<i>Acuerdo</i>	<i>Desacuerdo</i>	<i>Indiferente</i>
Mas precisión, menor error N	1	1	--
Demostrar cual es el correcto CE	6	--	--
Es mejor para dar respuesta, conclusiones y mas profundidad CE	3	--	--
Lograr que se asemejen los dos grupos CE	1	--	--
<i>No argumenta</i>	4	--	--
4 Reducir los errores en las medidas para demostrar más allá de la duda razonable qué modelo da la mejor interpretación (responden: 17)			
<i>Categorías de respuesta</i>	<i>Acuerdo</i>	<i>Desacuerdo</i>	<i>Indiferente</i>
Permite ver qué interpretación describe mejor el fenómeno CNE	5	--	--
La representación gráfica es más válida CE	3	--	--
Se reducen los factores intervinientes, más control. CE	2	--	--
<i>No argumenta</i>	6	1	--
5 Antes de decidir qué hacer es necesario un análisis de los modelos propuestos por los dos grupos. (responden: 18)			
<i>Categorías de respuesta</i>	<i>Acuerdo</i>	<i>Desacuerdo</i>	<i>Indiferente</i>
Saber cuál es más fiable CNE	4	--	--
Consensuar una conclusión CNE	3	--	--
Saber si tienen consistencia lógica con la fenomenología (tomar decisiones exp.) CE	2	--	--
Los modelos son parecidos N	--	1	--
<i>No argumenta</i>	6	2	--

6 Ninguno de los dos grupos ha logrado explicar los datos correctamente. Hay que extraer de los datos otra interpretación. (responden: 11)			
<i>Categorías de respuesta</i>	<i>Acuerdo</i>	<i>Desacuerdo</i>	<i>Indiferente</i>
Supone una interpretación preestablecida y válida CE	--	--	1
Considera a las dos interpretaciones correctas, coherentes, válidas o lógicas CE	--	2	--
Respuestas singulares (decisión social, necesidad de discriminar) CNE /CE	--	1	3
<i>Ambiguas</i>	--	4	--
7 Los científicos aceptan que puede haber más de una interpretación de estos datos. No hay manera de encontrar cuál es la interpretación correcta.(responden: 15)			
<i>Categorías de respuesta</i>	<i>Acuerdo</i>	<i>Desacuerdo</i>	<i>Indiferente</i>
Valora el consenso y la discusión entre pares para la toma de decisiones CNE	1	--	5
Debe existir una sola interpretación CE	--	5	--
Acepta más de una interpretación CNE	1	--	--
<i>No argumenta</i>	3	--	--

Para finalizar esta primera fase del análisis de los resultados obtenidos con el CAEF, presentamos una síntesis de la *Visión epistemológica predominante* en función de cada *Situación* expuesta en el instrumento, correspondientes a las partes I, II y III del mismo; los resultados se presentan tanto por cada estudiante como por la totalidad del grupo de estudiantes (Figuras: 9-3 (a y b) y 9-4). La concepción predominante por cada situación y estudiante se determinó mediante el cálculo de la moda entre los valores en las preguntas asociadas con la situación; se estableció como criterios: i) que debían haber respondido a más de la mitad de las preguntas y en caso contrario se le asignaba el valor de *No respondió* (NR); ii) en los casos en que no se podía obtener un valor para la moda, se analizó el conjunto de datos y se estableció un valor consistente con ellos, según los criterios siguientes:

- Si N° de CNE = N° de CE; ó N° de CNE = N°. de CE = N° de neutro, se consideró Neutro.
- Si N° de CNE = N° de neutro, se consideró CNE
- Si N° de CE = N° de neutro, se consideró CE.

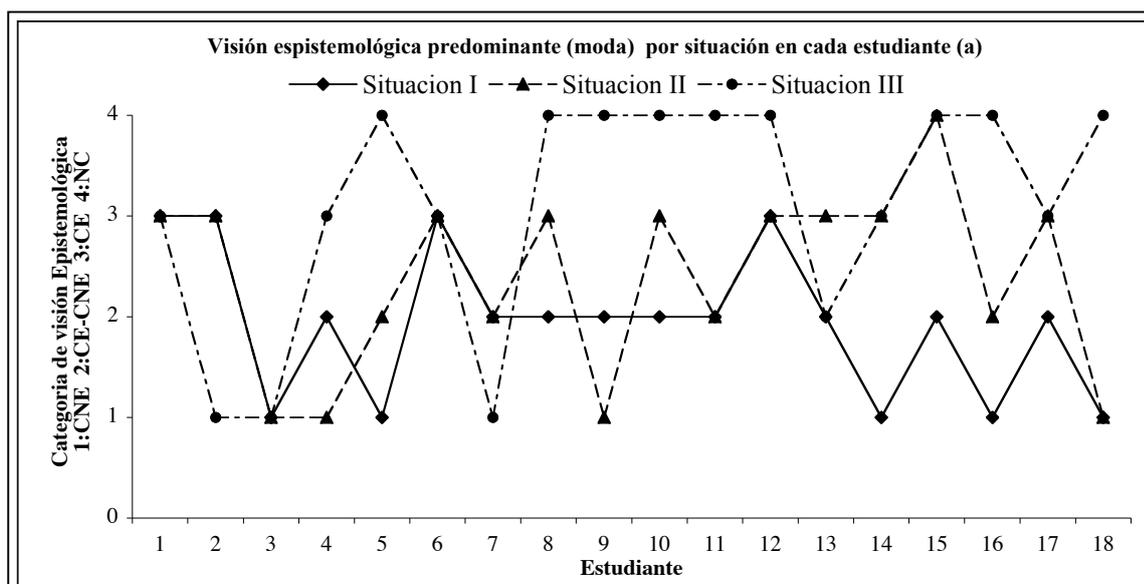
Como se puede observar en ambos gráficos, en la situación I la concepción estándar tiene igual frecuencia que la concepción no estándar, mientras que en las situaciones II y III la visión predominante es la concepción estándar, siendo mayor en la Situación II. Recordemos que el contexto de la situación II es un experimento clásico en el aula de laboratorio, por lo que pareciera que para este grupo de estudiantes, el trabajo experimental en la ciencia se diferencia del laboratorio en el ámbito educativo; al cual

conciben como más cerca de una visión inductivista (CE) que de las tendencias actuales de la ciencia (CNE).

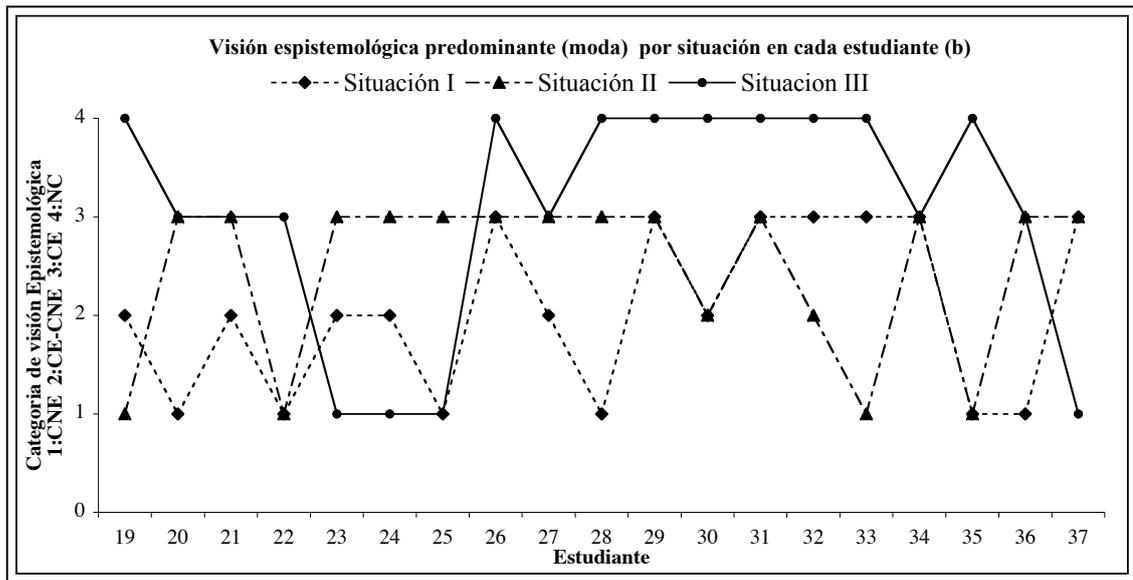
Por otra parte, encontramos que en la Situación III, cuyo énfasis estaba en conocer lo que significa para los estudiantes *interpretar datos de un trabajo experimental*, se da un alto número de casos que no responden (49%). Esto es consistente con los resultados de la pregunta D.1, Situación II (Cuadro 9-14) que tiene la misma intención, y en la que también se observa que un 46% no responde, mientras que sólo un 43% dio respuestas relacionadas con el establecimiento de relaciones entre las variables. Ante estos resultados cabe la posibilidad de que estos estudiantes no hayan tenido experiencia con este tipo de tarea experimental, y por ello no tengan criterios ni conocimientos para actuar ante tal demanda.

Con el fin de mostrar un panorámica general se determinó la moda para cada una de las tres situaciones por cada estudiante (Figura 9-3.a y 9-3.b). La frecuencia en las modas por cada categoría de visión en cada situación se presenta en la figura 9-4; estos valores ponen en evidencia que en este grupo de estudiantes predomina la concepción estándar acerca de la actividad experimental en las situaciones II (22 de 37) y III (11 de 37), manteniéndose la misma frecuencia (11 de 37) para las concepciones CE y CNE en la situación I.

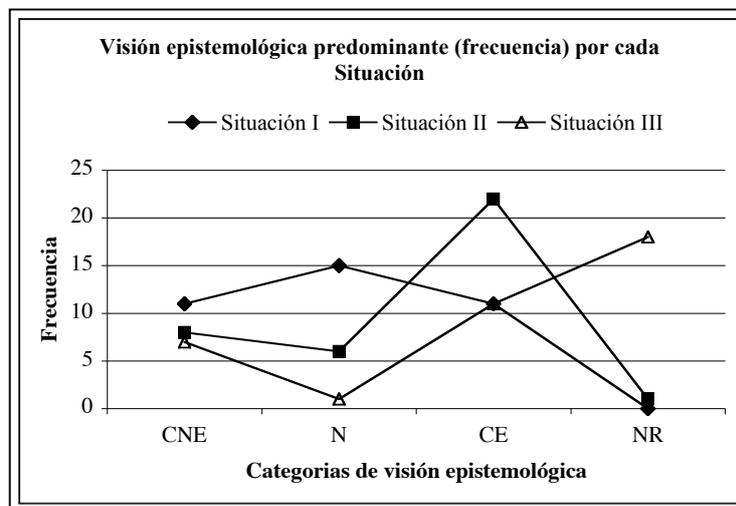
**Figura 9-3.** Visión epistemológica predominante (moda) por estudiante y Situación del Instrumento CAEF (a) Estudiante 1-18.



**Figura 9-3.** Visión epistemológica predominante (moda) por estudiante y Situación del Instrumento CAEF (b) Estudiante 19-37.



**Figura 9-4.** Visión epistemológica predominante para el grupo total (frecuencia de categorías por individuo) por cada Situación expuesta en el Instrumento CAEF (N:37).



#### 9.2.4 Análisis Global de resultados sobre la Visión acerca de las Actividades Experimentales en la Física de estudiantes universitarios.

En esta sección será expuesta la integración de los resultados en función de las Preguntas de Investigación propuestas. Con lo cual se dará cuenta de las concepciones que mostró el grupo encuestado acerca de la actividad experimental en la física. A tal

fin se tomará en cuenta la correspondencia entre las Preguntas de Investigación y los ítem del Instrumento CAEF, que fue presentada en la Figura 9-2.

A continuación se exponen y analizan los resultados correspondientes a cada *Pregunta de referencia*.

*PI.1. ¿Qué implica hacer un experimento en física? (Parte II: ítem A)*

La mayoría de los estudiantes de este grupo consideró que diseñar un experimento implica: *hacer y procesar medidas independiente de los modelos* (19; 51%) (Cuadro 9-11). Son pocos los que interrelacionan el diseño con los modelos teóricos tanto para efectos de medición como de análisis (4; 12% ) (Cuadro 9-9).

Los resultados de la pregunta IIA muestran que el diseño de los experimentos para este grupo es una tarea muy restringida, que está dirigida a establecer qué medir y cómo medir, sin interrelacionar los modelos teóricos y el fenómeno en estudio, prevaleciendo así una concepción de diseño cercana a la visión CE (54%, Figura 9-5).

*PI.2. ¿Cuál es el estatus que le asignan al trabajo de laboratorio en física? ¿Con qué finalidad se realizan experimentos en física? (Parte I: A, B, E; Parte II: A)*

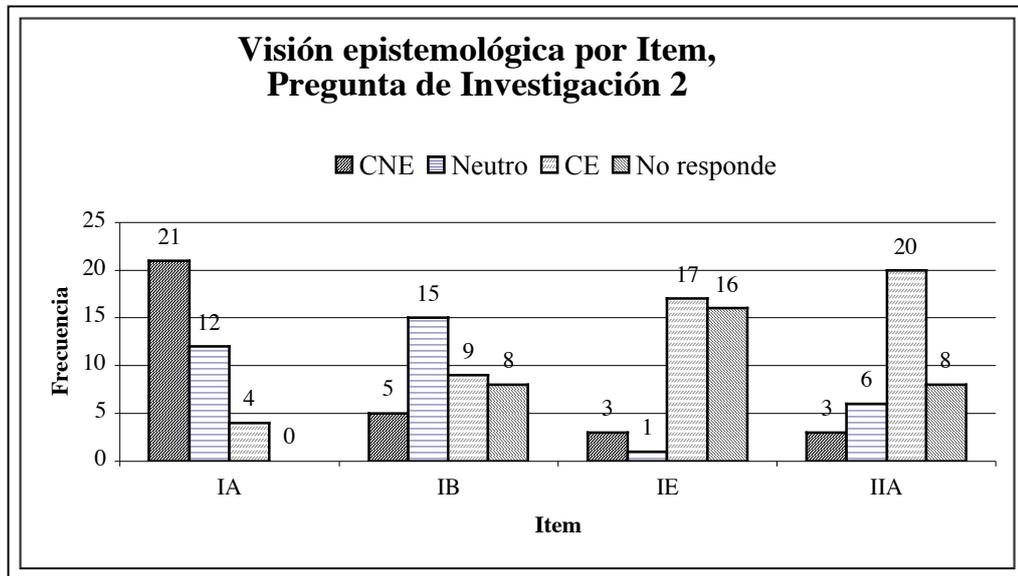
A continuación se representan los resultados de los ítem asociados con la PI 2 en el gráfico de la Figura 9-5. En él se señala por cada ítem, la frecuencia en las tres categorías de visión epistemológica que se establecieron para valorar las respuestas.

En la pregunta acerca de la motivación para hacer el experimento descrito en el instrumento (pregunta IB), predominó lo respuesta: *surge del análisis de la teoría o de las observaciones previas*, lo cual por sí solo no permite identificar una concepción epistemológica. Sin embargo, en la pregunta IE referida a un caso general, la mayoría consideró que *la actividad experimental era para comprobar leyes o para descubrir leyes nuevas*, esta concepción predominante es del tipo CE (Cuadro 9-2, Figura 9-5), con lo cual se complementa el significado de la respuesta a la pregunta anterior, ratificando la concepción CE.

Las descripciones predominantes en la pregunta IIA (diseñar un experimento), muestran dos tendencias tipificadas como visión del tipo CE: i) la que prioriza lo teórico por sobre lo experimental, y en consecuencia, lo importante es la medición para ratificar

el valor correcto; y ii) aquella donde no hay relación entre teoría-experimento y la medición es para descubrir relaciones (Cuadros 9-9 y 9-10; Figura 9-5).

**Figura 9-5.** Visión epistemológica predominante en los ítem del Instrumento CAEF, que corresponden a la Pregunta de Investigación 2 (N:37).

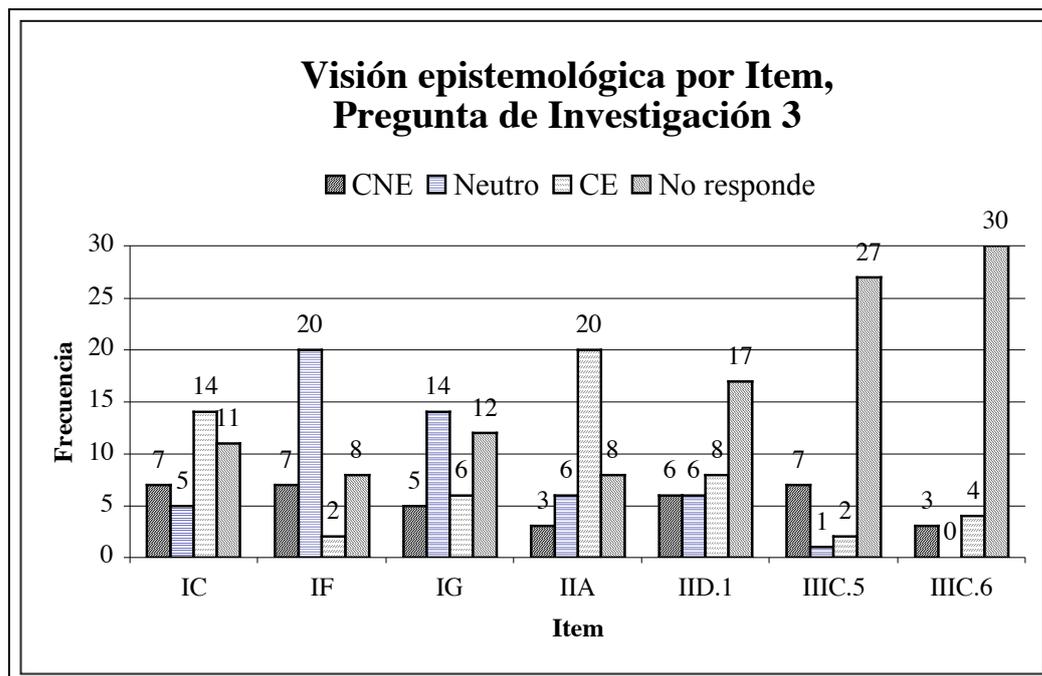


*PI.3. ¿Cómo conciben la relación entre la estructura teórica (teorías, leyes, modelos) y la actividad experimental? ¿Cuáles consideran que son los propósitos de la elaboración de modelos en la física? (Parte I: C, F, G; Parte II: A, D.1; Parte III: C (5-6))*

El contenido de esta pregunta contempla dos aspectos esenciales; por un lado, el estatus o función que tienen la teoría y el experimento en la ciencia, y por el otro, la manera en que ambas se interrelacionan en los diferentes momentos del quehacer experimental. En este sentido tenemos que las preguntas I.C, I.F, I.G dan cuenta de lo primero, y las preguntas IIA, IID.1 y IIIC.5 y IIIC.6 informan sobre lo segundo.

Cerca del 50% manifiesta que *la teoría es necesaria para el experimento* (pregunta IF, Cuadro 9-5; Figura 9-6). Sin embargo, la relación entre teoría-experimento, al igual que en la pregunta de investigación 2, tiene dos tendencias próximas a la visión CE: *las leyes se construyen o verifican con los experimentos* y *los experimentos son aplicaciones o verificaciones de la teoría* (pregunta IC: Cuadro 9-4, Figura 9-6). También predomina la concepción de que *los resultados experimentales son el criterio para la modificación de las teorías* (43%) (pregunta IG: Cuadro 9-6; Figura 9-6)

**Figura 9-6.** Visión epistemológica predominante en los ítem del Instrumento CAEF, que corresponden a la Pregunta de Investigación 3 (N:37).



Se observa de las cuestiones IIC.5 y IIC.6 que los estudiantes que responden consideran necesario revisar los modelos en busca del más fiable. Por otra parte, son pocos los que admiten diversos modelos interpretativos (Cuadro 9-18).

Por último, la actividad propiamente experimental es vista separada de la teoría, como lo muestran los diseños expuestos ante la pregunta IIA; en ellos se encontró gran énfasis en la medición per sé. También, parece que interpretar los datos es una tarea científica que no tiene significado para ellos, ya que en todas las preguntas donde se solicitaba opinar o indicar qué hacer al respecto, un alto número no respondió (preguntas: IID.1; IIC.5 y IIC.6); Figura 9-6). Además, en la pregunta IID.1 se observa que entre los estudiantes que responden (54%), el 15% da sugerencias que no tienen que ver con la interpretación de resultados; el 19% dice que las relaciones entre variables surgen de los datos; y sólo un 14% analiza la relación funcional entre los datos en atención a un posible modelo (Cuadro 9-14, Figura 9-6).

Se puede concluir que este grupo de estudiantes considera la teoría como referente de un valor verdadero, siendo el trabajo experimental independiente del teórico pero necesario para comprobar o descubrir nuevas relaciones, por lo que conciben la

interrelación entre lo teórico y lo experimental más cercana a la perspectiva epistemológica estándar (CE) que a la no estándar (CNE).

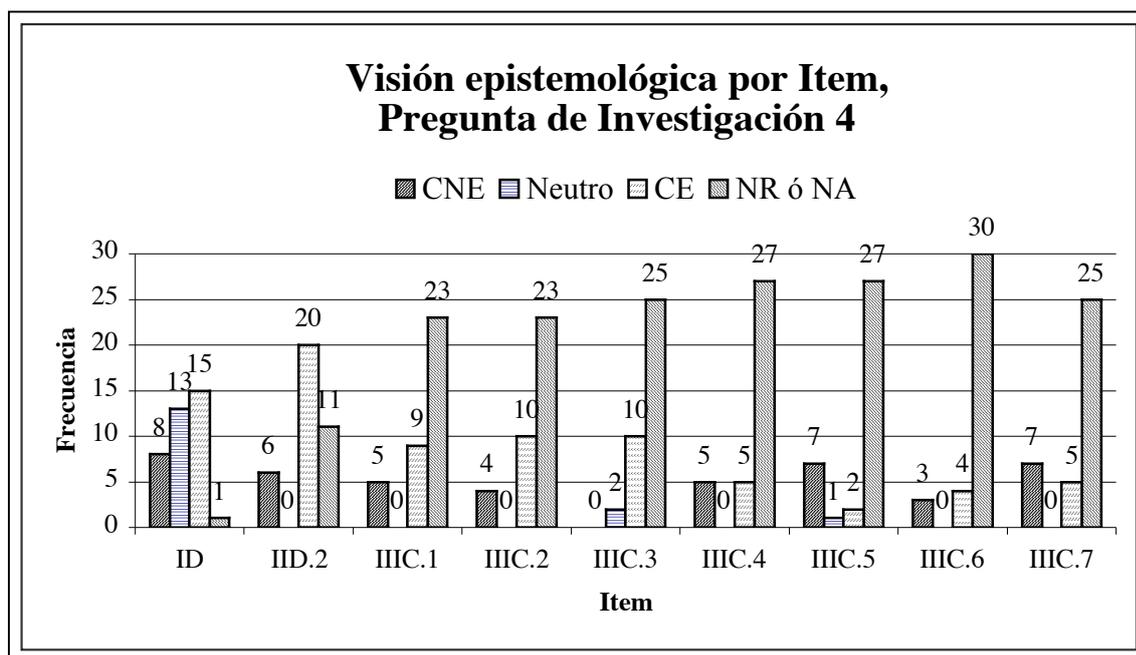
*PI.4. ¿Qué criterios consideran que emplean los físicos para establecer la validez de los modelos? (Parte I: D; Parte II: D.2; Parte III: C).*

En el instrumento se propusieron preguntas relacionadas en forma directa con este tópico en dos situaciones, la educativa (Parte II, pregunta D.2) y la científica (Parte III, pregunta C), complementada con la pregunta I.D. Los resultados globales en cada ítem, en términos de la valoración acerca de la visión epistemológica establecida, se representan en la Figura 9-7.

Derivado de la opinión de los estudiantes en relación a los seminarios y eventos para compartir resultados en la comunidad científica, se tiene que son pocos los que explicitan el consenso del colectivo como un criterio para validar o aceptar un modelo, (pregunta ID, CNE: 22%; Figura 9-7). En el ámbito educativo, les parece natural y necesario que se haga una presentación y debate de los resultados de los grupos de trabajo de laboratorio, pero con el fin de encontrar el resultado correcto (pregunta IID.2, CE: 54%; Figura 9-7).

Ante la pregunta IIIC, fueron pocos los estudiantes que respondieron, esto lleva a pensar que estos estudiantes no están acostumbrados a enfrentarse a situaciones en donde hay discrepancias entre resultados, y menos en las que sea posible tener mas de un modelo interpretativo. Entre los que responden a estas preguntas, se tiene que la mayoría consideró necesario recolectar más datos y disminuir los errores para encontrar el modelo correcto (preguntas: C.3 (CE: 10) y C.4 (CE: 5); Figura 9-7). Nuevamente, son pocos los que valoran el consenso como criterio de validación de los modelos (pregunta: C.7 (CNE: 7), Figura 9-7). Además, entre los siete que consideran necesario que la comunidad analice los modelos (pregunta: C.5; Cuadro 9-18), cuatro dicen que es para establecer cuál es el modelo más confiable, y tres indican que es para lograr una respuesta por generalización.

**Figura 9-7.** Visión epistemológica predominante en los ítem del Instrumento CAEF, que corresponden a la Pregunta de Investigación 4 (N:37).



En síntesis, en este grupo predomina: i) la idea de que hay que mejorar la precisión del experimento para poder confiar en los resultados, pues éstos son la única vía para aceptar o rechazar el modelo en validación; ii) las reuniones del colectivo de investigadores son para difundir los resultados, o en todo caso para debatir en busca de una interpretación única y correcta. Estas ideas evidencian un fuerte sesgo hacia la visión estándar (CE).

*PI.5. ¿Qué orienta la observación realizada en el laboratorio (descriptiva, cuantitativa)? (Parte II: A, B)*

El diseño de la observación experimental, para este grupo de estudiantes, se centra en planificar el qué y el cómo medir las variables relevantes del estudio. Si bien estas variables surgen del problema o de la teoría que lo sustenta, no se observa una interrelación entre el modelo teórico y el diseño experimental. En consecuencia, los datos serán válidos y confiables en la medida en que se tenga más cantidad, y se disminuya el error (Cuadro 9-12), solo así, a partir de ellos se emitirán juicios y conclusiones.

*PI.6. ¿Cómo conciben los datos registrados en el laboratorio? (Parte II: B, C; Parte III: C (1-2-3-4-6))*

En la pregunta IIB resultó que si bien la mayoría está de acuerdo en que una sola medida no es suficiente (E1: 75%; E2: 6%; Cuadro 9-12), se tiene que en el grupo predominaron dos posiciones: los que consideran que realizar varias medidas es para alcanzar mayor precisión y confiabilidad (33%), y los que piensan que hay que efectuar varias medidas para poder acercarse al valor correcto y eliminar equivocaciones (22%). Estos resultados se corresponden con los de la pregunta IIIC.3 donde la mayoría valoró la recolección de más datos para dilucidar entre las dos interpretaciones.

Por otra parte, consistente con lo anterior, en la pregunta IIC (Cuadro 9.13) se tiene que sólo un 24% de los estudiantes representó a un conjunto de medidas con el promedio y su desviación; mientras que un 30% estimó que bastaba con el promedio, lo cual pareciera poner en evidencia que las medidas son correctas en sí mismas.

La pregunta IIIC dio poca información sobre la pregunta 6, probablemente, por el bajo número de estudiantes que respondió. Lo que puede implicar que los estudiantes no saben cuál es el rol de los datos en el trabajo experimental.

Estos resultados se asemejan a los reportados por Bluffer, Allie, Lubben y Campbel (2001) con pruebas sobre recolección y procesamiento de datos; quienes encontraron que en los estudiantes universitarios predominaba el *paradigma punto* sobre el *paradigma conjunto*. Los autores consideran como *paradigma punto* a la concepción de que cada medida en sí misma es verdadera, por lo cual repetir la medida es solo necesario para descartar equivocaciones, y los errores no tienen significado. En cambio el *paradigma conjunto* se refiere a la noción de que cada medida es una aproximación al valor verdadero, por ello se requiere establecer la incerteza, en consecuencia, resulta necesario realizar varias medidas para tener una idea de la dispersión de estas.

*PI.7. ¿Cómo son interpretados los datos experimentales? ¿Cuál es el rol de la creatividad e imaginación del científico en el trabajo de laboratorio? (Parte II: D.1; Parte III: A, B, C)*

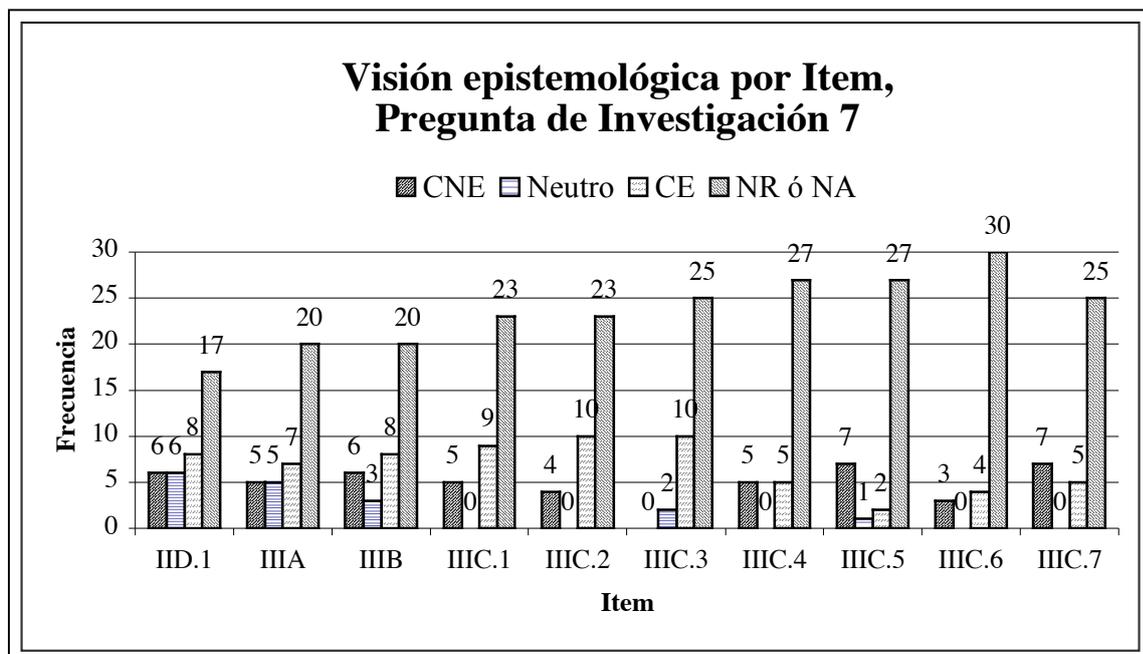
La actividad experimental de interpretar datos parece ser poco conocida por este grupo de estudiantes. Las preguntas referidas a ello, tanto las que solicitan que señalen cómo hacer la interpretación (IID.1; III. A), como aquellas en que se indica alguna

acción concreta al respecto y se solicita la opinión (III. B y C), fueron respondidas por pocos estudiantes (Figura 9-8).

Entre los que responden predominaron las respuestas de tipo CE, como por ejemplo, *obtener una relación funcional de los datos sin modelar; considerar que de los datos hay que obtener siempre una conclusión única o correcta; no aceptar más de una interpretación para un conjunto de datos*, entre otras (cuadros 9-14, 9-16 a 9-18).

Resultados semejantes han sido reportados por otros autores. Por ejemplo, Ryder y Leach (2000) en un estudio con estudiantes del último año de secundaria y primeros de universidad (N:900), encontraron que la respuesta mas popular acerca de la interpretación de los datos se centraba en la calidad y cantidad de éstos; eran pocos los que consideraban el rol de los modelos en esta actividad experimental, inclusive un 20% indicó que considerar los modelos para decidir entre dos interpretaciones era inadecuado. Igualmente, Bluffer, Allie, Lubben y Campbel (2001) reportan que con estudiantes universitarios (antes de la instrucción) predominó la visión centrada en las medidas como valores correctos y con significado en si mismos.

**Figura 9-8.** Visión epistemológica predominante en los ítem del Instrumento CAEF, que corresponden a la Pregunta de Investigación 7 (N:37).

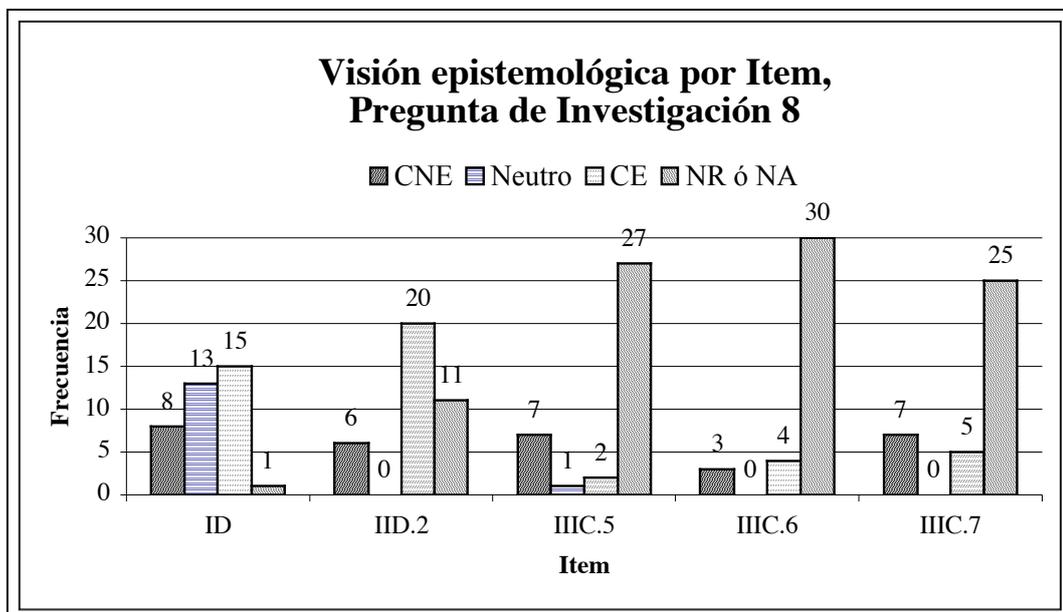


*PI.8. ¿Cuál es la importancia y función del intercambio entre pares sobre resultados y conclusiones obtenidas experimentalmente?*

El quehacer de la ciencia es una actividad colectiva; si bien los investigadores o grupos de ellos trabajan en problemas específicos, la producción de conocimientos requiere del intercambio, debate y consenso de los pares. De ahí que el comunicar los resultados y someter a la crítica externa las producciones tanto en lo teórico como en lo experimental, sea una forma de validación y de control social dentro de la ciencia.

En este ámbito, se incluyeron preguntas para indagar sobre la opinión de los estudiantes en cuanto a la finalidad de los seminarios y encuentros de científicos. Los resultados se resumen en los cuadros 9-7, 9-14 y 9-18, y en la Figura 9-9. Para este grupo de estudiantes se obtuvo que el fin predominante de estos encuentros es: *dar a conocer a otros los resultados obtenidos* (ámbito científico, pregunta ID); o *debatir para llegar a un resultado correcto* (ámbito educativo, pregunta IID.1). Los resultados de las subpreguntas IIIC.5, IIIC.6 y IIIC.7 ponen en evidencia que la mayoría de estos estudiantes no tiene opinión respecto al rol de la comunidad científica en la validación de los modelos o de los resultados de investigación, ya que la mayoría no respondió.

**Figura 9-9.** Visión epistemológica predominante en los ítem del Instrumento CAEF, que corresponden a la Pregunta de Investigación 8 (N:37).



En conclusión, se puede decir que para esta muestra, la comunidad científica no tiene una función decisoria en la aceptación o rechazo de los resultados experimentales;

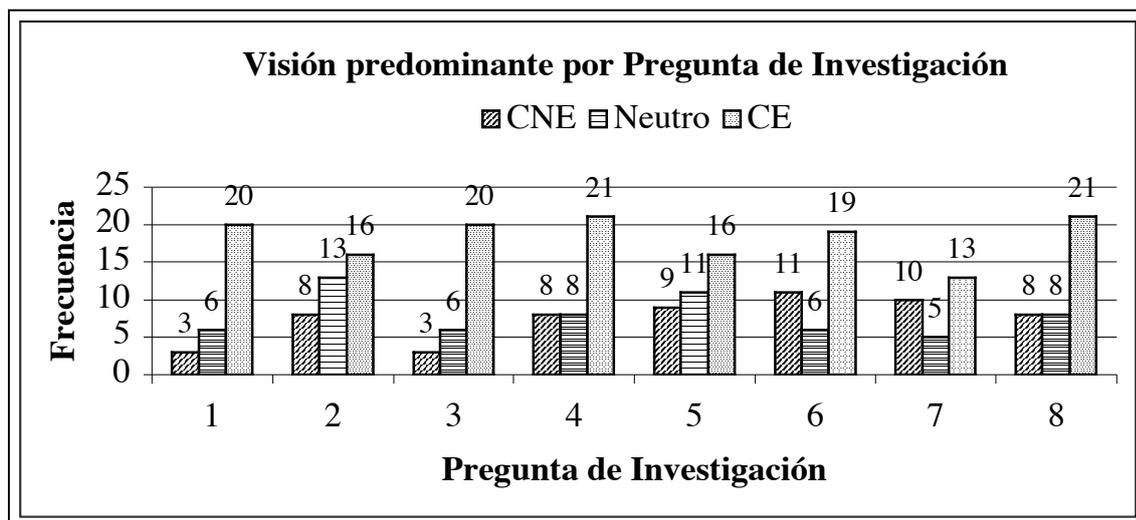
esto deriva de la calidad del experimento, lo que se logra, básicamente, con el incremento en el número de medidas y el control, ya que así se garantizan datos confiables. Estas ideas se enmarcan en la concepción estándar que ha sido descrita en este trabajo.

Para finalizar el análisis global presentaremos la concepción predominante en el grupo en cada una de las ocho preguntas de investigación que se plantearon. A tal efecto se determinó por cada estudiante la moda en cada pregunta de investigación, con los valores obtenidos en el conjunto de ítem asociados a dicha pregunta. En los casos donde la moda no se pueda determinar, se tomaron los mismos criterios citados antes<sup>5</sup>.

Esta transformación de datos permite observar que la concepción que predominó por cada pregunta de investigación en la mayoría de los estudiantes fue la *estándar*, lo cual está representado en el gráfico de barras que se anexa a este informe (Anexo 9-B).

Por último, se determinó por cada pregunta de investigación, la frecuencia para cada categoría de concepción acerca del laboratorio, lo cual se representa en la Figura 9-10. En este gráfico también se visualiza que para el grupo de estudiantes encuestado, la concepción predominante en las ocho preguntas de investigación fue la *Concepción Estándar*.

**Figura 9-10.** Visión epistemológica predominante en las Preguntas de Investigación (8), según los resultados obtenidos con el Instrumento CAEF (N:37).



<sup>5</sup> - No. de CNE = No. de CE; ó No. de CNE = No. de CE = No. de neutro, se consideró Neutro.  
 - No. de CNE = No. de neutro, se consideró CNE  
 - No. de CE = No. de neutro, se consideró CE.

### **9.3 IMPLICACIONES DE LA APLICACIÓN DEL INSTRUMENTO: CONCEPCIONES ACERCA DE LA ACTIVIDAD EXPERIMENTAL EN LA FÍSICA, CAEF**

La aplicación del instrumento CAEF a un grupo de estudiantes universitarios cursantes de la carrera de Física o del profesorado de Física permitió establecer en primer lugar un *sistema de categorías de respuesta*, el cual se presenta en el Anexo 9-C. Para la construcción de las categorías se seleccionaron aquellas que resultaron más relevantes por cada una de las perspectivas epistemológicas establecidas, CE y CNE; además, se agregó la categoría neutral, N, en aquellas respuestas que de manera aislada no pudieron ser identificadas con una visión de ciencia específica.

En los ítem en que no se obtuvieron respuestas referidas a alguna de las dos concepciones, se completó con opciones derivadas de las descripciones de la concepción estándar (CE) y concepción no estándar (CNE) acerca del trabajo experimental, expuestas en el capítulo 4. En los ítem de la Parte III se compararon las categorías establecidas en el estudio con las opciones incluidas en el cuestionario original de Ryder y Leach (2000), ello permitió incorporar algunas categorías que fueron consideradas relevantes.

También, derivado de este estudio se definió una metodología para el procesamiento y análisis de los datos que se recolecten con el instrumento CAEF en su versión de preguntas abiertas. Adicionalmente, se construyó una versión del instrumento CAEF con preguntas cerradas, cuyas opciones provienen del sistema de categorías, lo que se acompaña con una metodología para el análisis de los datos recolectados en este formato.

#### **9.3.1 Metodología para el análisis de resultados obtenidos con el CAEF en su versión de preguntas abiertas**

Los resultados obtenidos de la aplicación de instrumento CAEF en su versión de preguntas abiertas pueden ser analizados según

- I) La Situación planteada, por cada estudiante y global; y
- II) Las Preguntas de Investigación, por estudiante y global.

El procesamiento de datos inicial válido para ambos casos, consiste en:

1. Transcribir por cada ítem, las respuestas textuales de los estudiantes.
2. Establecer una correspondencia entre las respuestas de cada estudiante y el sistema de categorías establecido (Anexo 9-C).
3. Validar la clasificación anterior mediante la triangulación con otros especialistas.
4. Identificar en cada ítem la concepción predominante del estudiante, mediante la valoración asignada a cada categoría (Anexo 9-C); se sugiere el uso de la escala siguiente: CNE=1, N=2, CE=3, NR=4.

**I. Análisis por cada situación,** AS. Una vez procesados los datos, se continúa con el siguiente procedimiento:

*AS.1 Respuestas por cada situación según las preguntas de investigación:* Analizar los resultados derivados del paso 3 (frecuencia y porcentaje de categorías predominantes por cada ítem) en atención a los ítem de la situación y las preguntas de investigación a las que dan cuenta dichas cuestiones (figura 9-2).

*AS.2 Concepción por cada Situación, por cada estudiante y global:*

2a. Determinar la moda en cada Situación por cada estudiante entre los valores asignados a los ítem correspondientes (paso 4), considerando los criterios siguientes:

i) Debe haber respondido a por lo menos la mitad más uno de los ítem

ii) Si no es posible obtener un valor, entonces se considera:

- Neutro si el N° de CNE = N° de CE; ó N° de CNE = N° de CE = N° de N.

- CNE si el N° de CNE = N° de neutro.

- CE si el N° de CE = N° de neutro.

2b. Determinar la frecuencia de los valores modales por cada Situación, con todos los estudiantes encuestados.

*AS.3 Concepción Global, por cada estudiante y general:* Con los resultados del numeral AS.2a:

3a. Determinar la moda entre las tres Situaciones por cada estudiante, considerando los criterios indicados en el numeral AS.2aii.

3b. Determinar la frecuencia de los valores modales obtenidos en el numeral AS.3a.

**II. Análisis por Preguntas de Investigación**, API. A partir del procesamiento inicial, se lleva a cabo el segundo análisis de los datos, de la siguiente manera:

*API.1 Concepción por estudiante:*

- 1a. Organizar los resultados del paso inicial 3, agrupándolos en atención a la asociación entre ítem del instrumento y Preguntas de Investigación (Figura 9-2)
- 1b. Determinar la frecuencia de las categorías de concepción para el grupo de ítem de cada Pregunta de Investigación, incluyendo en la escala el valor 4 para la situación de No responde o No argumenta.
- 1c. Determinar la moda por estudiante entre los valores obtenidos en los ítem asociados a cada Pregunta de Investigación, para ello se considera el criterio indicado en el paso AS.2aii.

*API.2 Concepción global:*

- 2a. Determinar la frecuencia de los valores modales obtenidos para cada pregunta de Investigación con el paso API.1c.

Esta metodología fue utilizada en el estudio de la contribución de una propuesta de Trabajos de Laboratorio basada en la Teoría de Campos Conceptuales sobre la Visión acerca de la Actividad Experimental en la Física, llevado a cabo con estudiantes para profesor de física; resultados que se reportan en el capítulo 10.

No se descarta el uso de pruebas estadísticas no paramétricas en estudios con poblaciones grandes.

### **9.3.2 Descripción del Instrumento CAEF en su versión de preguntas cerradas y Metodología para el análisis de resultados**

El estudio empírico realizado con el instrumento CAEF, permitió establecer un sistema de categorías de respuesta con lo que se transformaron las preguntas abiertas del CAEF en preguntas cerradas (anexo 9-C). Esta versión del instrumento resulta más fácil de completar, y de procesar y analizar, permitiendo su aplicación a poblaciones grandes. Aún cuando las opciones incluidas en las preguntas derivan de un estudio empírico, la exploración relativa a la visión acerca de la ciencia con este tipo de pregunta resulta

problemática, por lo cual se recomienda acompañar la aplicación de esta versión del instrumento CAEF, con entrevistas a una submuestra con el fin de validar los resultados y profundizar en los significados.

El instrumento CAEF en sus dos versiones, preguntas abiertas y preguntas cerradas, resulta válido para poblaciones de estudiantes universitarios de carreras de física o de profesorado de física, de habla hispana.

La metodología para el procesamiento y análisis de los resultados obtenidos con el instrumento CAEF, versión pregunta cerrada, consiste en:

1. Transformar las respuestas dadas en cada ítem según la escala de concepciones, siguiendo el Sistema de Categorías y de Valoración presentado en el Anexo 9-C.
2. Transcribir por cada estudiante los resultados de cada ítem en términos de la escala: CNE=1, N=2, CE=3; No responden o no argumentan =4.
3. Analizar los resultados según la metodología descrita para el instrumento CAEF, versión de pregunta abierta (ver páginas 9-41 a 9-43).

## **9.4 CONCLUSIONES**

La descripción de la visión acerca de la actividad experimental en física, desde dos grandes clases, la concepción estándar y la concepción no estándar, resultó ser un referente fructífero para la interpretación de las respuestas dadas por los estudiantes en el cuestionario CAEF, ya que fue posible emitir un juicio en cuanto a la visión que tienen acerca de cada uno de los aspectos considerados en las preguntas de investigación planteadas.

Por otra parte, el uso de varios ítem dentro de diferentes contextos (experimentos científicos y trabajos de laboratorio educativo) para la obtención de información acerca de un mismo aspecto (pregunta de investigación), resultó una metodología adecuada para garantizar mayor confianza en los resultados y en las declaraciones que se derivan de ellos. Así mismo, como lo han planteado diversos autores (Ryder y Leach, 1999; Murcia y Schibeci, 1999; Bluffer, Allie, Lubben y Campbell, 2001) el uso de situaciones en contextos explícitos, es decir, descripciones de situaciones experimentales concretas, permitió reducir la ambigüedad en las respuestas de los

estudiantes, ya que demandaban de ellos acciones específicas a partir de las cuales se pudo inferir su concepción.

Los resultados más relevantes de este trabajo en relación con la visión de los estudiantes acerca de la actividad experimental ponen en evidencia que para el grupo de estudiantes encuestados, predomina la concepción estándar. Para ellos el trabajo experimental resulta ser una actividad científica aislada y autoconsistente, dirigida a verificar y comprobar la teoría o a descubrir nuevas leyes. En el desarrollo del trabajo experimental: diseño del experimento, recolección, procesamiento e interpretación de los datos, predominó el énfasis en los procedimientos y los datos, sin interrelacionarlo con los modelos. Aunque consideran necesario hacer muchas medidas para disminuir el error y mejorar la precisión, conciben a las medidas como válidas en sí mismas, y no son vistas como rangos de valores en los cuales es probable encontrar la medida.

El diseño experimental implica, básicamente, establecer qué y cómo medir, donde el referente teórico es utilizado para derivar qué se debe medir y qué se debe encontrar, pero no lleva a la toma de decisiones para el montaje del experimento y los procedimientos de medición; podría pensarse que estas respuestas se deben a que las mediciones (distancia, altura, temperatura, resistencia eléctrica) que se planteaban en los experimentos de las situaciones del cuestionario no ofrecían mayores dudas acerca de cómo medirlas y de la fiabilidad de su procedimiento. Por otro lado, este hecho parece ser bastante común en la enseñanza en el laboratorio, por lo general, las variables a medir y los procedimientos correspondientes para ello son establecidos por el profesor, con lo cual el estudiante no se enfrenta a la toma de decisiones al respecto; ello puede ser motivo de nociones distorsionadas como las encontradas con los estudiantes de este estudio.

La interpretación de los datos es una actividad con poco significado para estos estudiantes; para la mayoría de ellos implica hacer el gráfico, dibujar la línea que mejor se ajuste a los datos y calcular la pendiente si resulta una recta. Predomina el énfasis en la calidad y cantidad de los datos a ser interpretados, o en la calidad de las representaciones gráficas de los datos; con miras a encontrar el valor único y la interpretación válida, por lo que la mayoría, ante resultados experimentales que presentan discrepancias proponen acciones dirigidas a alcanzar la igualdad y la respuesta común; acciones que se centran en los datos, es decir, en tener más medidas,

mejorar los procedimientos de medición, entre otras, y no consideran el análisis de los modelos como forma de interpretación.

Por último, el intercambio en el seno de la comunidad tanto de la ciencia como del ámbito educativo, es considerado importante por este grupo de estudiantes, sin embargo, la finalidad principal es la divulgación y la búsqueda de vías que permitan llegar al resultado correcto. Muy pocos estudiantes le dieron cabida a posiciones relativistas, donde la pluralidad sea aceptada.

Los resultados encontrados en este trabajo no difieren mucho de los reportados por autores que han trabajado con poblaciones que difieren tanto en el nivel educativo, como en lo cultural (Murcia y Schibeci, 1999; Ryder y Leach, 1999, 2000; Bluffer, Allie, Lubben y Campbell, 2001), por lo que pudiera pensarse que es una problema bastante general de la enseñanza de la física.

Para finalizar, este estudio permitió obtener un sistema de categorías de respuesta (Anexo 9-C), valorados según las dos concepciones establecidas, así como una metodología para el análisis e interpretación de las respuestas que se obtienen de la aplicación del instrumento CAEF. Igualmente, este sistema de categorías permitió la construcción de una versión del CAEF con preguntas cerradas. Sin embargo, aún cuando el sistema de categorías representa una síntesis de las ideas y el lenguaje de los propios estudiantes, es recomendable complementar la aplicación de la versión del instrumento CAEF de preguntas cerradas, con entrevistas a fin de garantizar confiabilidad y detalle en la visión de los estudiantes del estudio que se este realizando.

Sería recomendable la realización del estudio de la visión epistemológica acerca de la actividad experimental en poblaciones mas grandes, y poder relacionarlo con otras variables como: carrera, sexo, nivel académico del estudiante, tipo de curso de laboratorio, otros; que pudieran dar información acerca de las variaciones en la visión de los estudiantes según características específicas, o poder establecer una progresión en la evolución de las ideas de los estudiantes sobre este tema. También resulta de interés el estudio sobre la visión que tienen los estudiantes sobre la actividad experimental en otras disciplinas como biología o química, ya que como este instrumento se enmarcó en el área de la física, los resultados no permiten decir nada acerca de la concepción de los estudiantes en otras áreas; por ello sería conveniente el diseño de instrumentos semejantes que incluyan situaciones enmarcadas en otros campos experimentales.

## **CAPÍTULO 10**

# **CONTRIBUCIÓN DEL TRABAJO DE LABORATORIO DESARROLLADO SEGÚN EL MATLaF SOBRE LA CONCEPCIÓN ACERCA DE LA ACTIVIDAD EXPERIMENTAL EN FÍSICA**

# CAPÍTULO 10

## CONTRIBUCIÓN DEL TRABAJO DE LABORATORIO DESARROLLADO SEGÚN EL MATLaF SOBRE LA CONCEPCIÓN ACERCA DE LA ACTIVIDAD EXPERIMENTAL EN FÍSICA

### 10.1 INTRODUCCIÓN

El trabajo de laboratorio (TL) en este estudio fue considerado como un espacio natural para el aprendizaje en el dominio metodológico y el dominio teórico interrelacionados, y también para contribuir al desarrollo de una visión acerca del trabajo de laboratorio (TL) cónsona con las tendencias aceptadas en la comunidad científica. En tal sentido, en este capítulo se reportan los resultados obtenidos sobre las concepciones que evidenciaron los estudiantes que participaron en el curso de laboratorio donde se llevó a cabo el estudio piloto y el ensayo. Para ello se aplicó el instrumento *Concepciones acerca de la Actividad Experimental en Física*, CAEF antes y después del curso.

### 10.2 PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

Como ya se expuso en el capítulo 8, la pregunta central del ensayo es:

¿El desarrollo del TL según el modelo MATLaF descrito en el capítulo 5 y guiado por el plan general derivado desde una perspectiva epistemológica de la actividad científica como un proceso de permanente interjuego entre aspectos teóricos y metodológicos representado en la Fig.5-5, promoverá en los estudiantes *aprendizajes* del dominio *conceptual teórico-metodológico* y del dominio *epistemológico*?

Si bien el análisis de los datos recabados sobre el aprendizaje en el dominio teórico-metodológico<sup>1</sup> permitió dar cuenta de algunos cambios en relación con el ámbito epistemológico; en este capítulo se informa sobre la evaluación específica que se llevó a cabo de la dimensión *Concepción acerca de la Actividad Experimental en Física*. En consecuencia, se planteó la siguiente interrogante específica:

---

<sup>1</sup> Capítulo 8, apartado 8.6

¿Qué cambios se promoverán en las concepciones acerca de la Actividad Experimental en Física en los estudiantes que participan en el ciclo de TLs desarrollados según el modelo MATLaF (capítulo 5) y guiados por el plan general derivado desde una perspectiva epistemológica de la actividad científica como representación del permanente interjuego entre aspectos teóricos y metodológicos?

La actividad experimental en el aula entendida como el lugar donde se utilizan conocimientos del dominio teórico para, fundamentalmente, el aprendizaje de conocimientos del dominio experimental en interacción con el anterior, parece ser un espacio importante para el desarrollo de una imagen de la ciencia cónsona con posturas epistemológicas actuales (Hodson, 1994; Leach, 1999; Leach y otros, 2001; Duschl, 2000). Para ello, es necesario que *la comprensión de la naturaleza de la ciencia, su metodología y los mecanismos sociales e institucionales que operan en ella* se planteen, de manera explícita, como objetivos de aprendizaje relativos al dominio epistemológico.

Lo anterior puede involucrar entre otros objetivos, los siguientes:

- i) Reconocer que los modelos se basan en abstracciones (medios sin fricción, homogéneos e infinitos, otros), y que éstos son construidos dentro de marcos teóricos cuyos referentes están en el mundo real.
- ii) Producir apropiadas explicaciones o argumentaciones.
- iii) Reconocer las estrategias de indagación más convenientes para el estudio de la propagación de pulsos en cuerdas.
- iv) Reconocer qué mediciones deben repetirse y cuáles pueden ser seleccionadas para su análisis.
- v) Reconocer los datos que no son confiables para generar conclusiones.
- vi) Analizar la clase de datos que se producen y transformarlos en atención a preguntas planteadas.
- vii) Seleccionar los procedimientos mas apropiados para el análisis de los datos y el grado de aproximación y ajuste al modelo que explica los resultados obtenidos.
- viii) Identificar los elementos que pueden hacer que una conclusión sea considerada confiable.

- ix) Valorar la importancia de la contrastación de los resultados entre pares o con otros grupos de trabajo.
- x) Desarrollar capacidades de síntesis e integración para la comunicación de resultados por escrito a través de diarios, informes y reflexiones escritas (portafolio).

En el ensayo realizado se plantearon algunos objetivos de aprendizaje relativos al dominio epistemológico, los cuales fueron evaluados, analizados y reportados en el capítulo 8. Sin embargo, dado que el estudio se realizó en el marco de un curso de laboratorio, en el que se implementaron tres TIs: el TI del estudio piloto, el TI del ensayo y un tercer TI que no fue considerado para este trabajo, aunque se desarrolló con el mismo enfoque de los anteriores, se planteó como hipótesis que la visión que tenían los estudiantes acerca del trabajo de laboratorio en física antes del curso se modificaría como resultado de haber colocado a los estudiantes en acción en estos tres TIs. Cambio que se consideró que iría hacia la *concepción no estándar*<sup>2</sup> de la actividad experimental.

### 10.3 METODOLOGÍA

A efecto de evaluar el cambio en las *Concepciones acerca de la Actividad Experimental en Física* de los estudiantes como consecuencia de haber participado en el curso de Laboratorio III, donde se llevaron a cabo tres TI según el modelo MATLaF; se aplicó el instrumento CAEF<sup>3</sup> (versión pregunta abierta) a los cinco estudiantes que participaron en el estudio, en dos momentos. La primera aplicación fue en el período académico anterior al estudio (Octubre 2002- abril 2003), y la segunda, al finalizar el curso de Laboratorio III, después de haber entregado las calificaciones del mismo.

Los datos recolectados mediante la aplicación del instrumento fueron procesados y analizados siguiendo la metodología establecida en el capítulo anterior. Y su interpretación fue realizada desde las dos concepciones epistemológicas descritas en el capítulo 4, concepción estándar, CE, y concepción no estándar, CNE. Con base a ello se comparó el estado inicial con el estado final para evaluar el cambio en la visión acerca de la actividad experimental de los estudiantes. Los resultados son expuestos en la sección siguiente.

---

<sup>2</sup> Ver descripción de la Concepción Estándar (CE) y la Concepción no Estándar (CNE) en el Capítulo 4.

<sup>3</sup> La construcción y validación del instrumento CAEF se describe en el capítulo 9.

## 10.4 RESULTADOS Y ANÁLISIS DE DATOS

Los resultados de la aplicación del instrumento *Concepciones acerca de la Actividad Experimental en Física*, CAEF, antes y después del curso de Laboratorio III, serán presentados y analizados según dos dimensiones: i) situación contextual planteada (parte I, II y III del CAEF); y ii) preguntas que guían el Instrumento. Aún cuando el interés principal está centrado en conocer el cambio ocurrido en cada estudiante, también se expondrán algunos resultados globales.

### 10.4.1 Resultados por Situación Contextual

El instrumento CAEF presenta tres Situaciones Contextuales: un seminario entre científicos, un trabajo de laboratorio en el ámbito educativo y un encuentro de dos grupos de investigadores para discutir sobre los resultados de un experimento. La intencionalidad de las cuestiones propuestas en cada situación están referidas a las preguntas que guían el instrumento, lo que se resume en el Cuadro 10-1. En atención a esta distribución se presentarán los resultados obtenidos antes y después del curso.

**Cuadro 10-1.** Correspondencia entre las cuestiones del Instrumento CAEF y las Preguntas guía de Investigación.

Preguntas	Situación I	Situación II	Situación III
1 ¿Qué significa hacer un experimento en física?	--	A	--
2 ¿Cuál es el estatus que le asignan al trabajo de laboratorio en física? ¿Con qué finalidad se realizan experimentos en física?	A, E, B	A	--
3 ¿Cómo conciben la relación entre la estructura teórica (teorías, leyes, modelos) y la actividad experimental? ¿Cuáles consideran que son los propósitos de la elaboración de modelos en la física?	C, F, G	A, D.1	C (5-6)
4 ¿Qué criterios consideran que emplean los físicos para establecer la validez de los modelos?	D	D.2	C
5 ¿Qué orienta la observación realizada en el laboratorio (descriptiva, cuantitativa)?	--	A, B	--
6 ¿Cómo conciben los datos registrados en el laboratorio?	--	B, C	C(1-2-3-4-6)
7 ¿Cómo son interpretados los datos experimentales? ¿Cuál es el rol de la creatividad e imaginación del científico en el trabajo de laboratorio?	--	D.1	A, B, C
8 ¿Cuál es la importancia y función del intercambio entre pares sobre resultados y conclusiones obtenidos experimentalmente?	D	D.2	C (5-6-7)

#### **10.4.1.1 Análisis de resultados en la Situación I del CAEF, antes y después del curso.**

La situación I permite dar cuenta de la opinión de los estudiantes sobre: el estatus y finalidad que le asignan al laboratorio; la manera en que conciben la relación teoría-experimento durante la actividad experimental; los criterios de la ciencia para la aceptación de los modelos; y la valoración y función de la comunicación entre pares (Cuadro 10 -1).

En atención a ello presentamos las respuestas dadas por los estudiantes antes y después del curso en los Cuadros 10-2, 10-3, 10-4, 10-5, 10-6, 10-7 y 10-8, codificadas según el sistema de categorías y valoración establecidas para su análisis (Anexo 9-C).

El grupo de estudiantes identificó sin dificultad el propósito de la investigación del texto del seminario en los dos momentos (Cuadro 10-2); cabe destacar que esta pregunta tenía como finalidad contextualizar a los estudiantes en una situación particular para luego plantear una pregunta general sobre lo mismo (ítem IE); sin embargo, llama la atención que en esta segunda pregunta el estudiante 4 no respondió, y los estudiantes 2 y 3 después del curso no dieron ejemplos de otros propósitos del experimento; los otros dos se mantuvieron en opciones del tipo CE, como comprobar o descubrir teorías (Cuadro 10-3).

También se observa que en cuanto al origen de los estudios experimentales, el estudiante 4 evidenció, antes y después, una visión tipo CE. Los estudiantes 2 y 5 mostraron ideas que no definen una visión de ciencia, pero de sus respuestas al ítem IE pareciera que mantienen la noción CE (Cuadro 10-3). Los estudiantes 1 y 3 mostraron poca consistencia en sus respuestas a las tres cuestiones, en los dos momentos estudiados (Cuadro 10-4).

Los resultados en estos tres ítems evidencian que los estudiantes no tienen claridad en sus ideas en relación a la diversidad de propósitos que puede tener la actividad experimental en la ciencia, desde una concepción no estándar.

**Cuadro 10-2.** Respuestas, antes y después del curso, en la Situación I, ítem IA, instrumento CAEF, según el sistema de categorías y valoración (Anexo 9-C).

*Pregunta A:* ¿Cuáles consideras que fueron los propósitos del trabajo experimental descrito en el resumen?

Estudiante	Antes respuesta	Concepción	Después respuesta	Concepción
1	1-2	CNE	1-2-6	CNE
2	1	CNE	1	CNE
3	1	CNE	1	CNE
4	1-6	CNE	1-2-6	CNE
5	6	N	3-6	CNE

*Categorías de Respuestas*

- 1 Caracterizar o determinar propiedades de un material (películas; tomando como base el modelo. Obtener aproximaciones de constantes
- 2 Determinar la validez de: las aproximaciones, las leyes o las ecuaciones.
- 4 Verificar que tan óptimas son las ecuaciones.
- 6 Estudiar o aplicar las ecuaciones

**Cuadro 10-3.** Respuestas, antes y después del curso, en la Situación I, ítem IE, instrumento CAEF, según el sistema de categorías y valoración (Anexo 9-C).

*Pregunta E:* Referido a otros trabajos de Física ¿consideras que el trabajo experimental puede tener otros propósitos?

Estudiante	Antes respuesta	Concepción	Después respuesta	Concepción
1	4-7	CE	5	CE
2	6	CE	*	--
3	*	--	*	--
4	--	--	--	--
5	4-5	CE	4	CE

\* Responde que Sí, pero no da ejemplos.

*Categorías de respuesta*

- 4 Comprobar o refutar teorías, leyes
- 5 Encontrar, descubrir nuevas leyes o relaciones
- 6 Propósito educativo: motivar, aplicar la teoría, aprender métodos.
- 7 Desarrollar avances tecnológicos

**Cuadro 10-4.** Respuestas antes y después del curso, en la Situación I, ítem IB, instrumento CAEF, según el sistema de categorías y valoración (Anexo 9-C).

*Pregunta B:* ¿De dónde pudo haber surgido la idea del trabajo experimental descrito en el resumen?

Estudiante	Antes respuesta	Concepción	Después respuesta	Concepción
1	5	CNE	2	CE
2	7	N	6	N
3	6	N	4-5	CNE
4	2	CE	2	CE
5	8	N	6	N

*Categorías de respuesta*

- 2 Necesidad de validar una teoría o ley
- 4 Necesidad de mejorar la calidad de vida
- 5 Necesidad del investigador
- 6 Derivado del análisis de la teoría o de algún modelo
- 7 Observaciones. Estudios previos
- 8 Resultados derivados de otros campos

Una de las mayores dificultades detectadas en los estudiantes se refiere a cómo conciben la relación entre la teoría y el laboratorio. En este estudio, se observa que antes del curso, en las tres preguntas (IC, IF, IG) los estudiantes mostraron una mezcla de concepciones. Mientras que, después del curso predominó entre ellos una visión del tipo CNE: conciben y valoran la interrelación entre teoría y experimento, y además, aceptan que las teorías cambian por desarrollos tanto en lo teórico como en lo experimental (Cuadros 10-5 y 10-6).

**Cuadro 10-5.** Respuestas, antes y después del curso, en la Situación I, ítem IC- IF, instrumento CAEF, según el sistema de categorías y valoración (Anexo 9-C).

<i>Pregunta C: ¿De qué manera se relacionan la teoría y el experimento en el trabajo descrito en el resumen?</i>					<i>Pregunta F: ¿Piensas que en todos los casos la teoría se relaciona con el trabajo experimental de la misma manera que en el caso descrito en el resumen?</i>			
Estudiante	Antes respuesta	Concepción	Después respuesta	Concepción	Antes respuesta	Concepción	Después respuesta	Concepción
1	--	--	--	--	3	CNE	6	CE
2	2	CE	5	CNE	4	N	4	N
3	6	CNE	6	CNE	1	CE	4	N
4	7	N	6	CNE	4	N	3	CNE
5	7	N	1	CNE	3	CNE	3	CNE
<i>Categorías de respuestas</i> 1 Con los experimentos se construye o se demuestra (comprueba o verifica) la teoría 2 El trabajo experimental depende de la existencia de una teoría 5 Los resultados de la teoría se comparan o contrastan con los experimentales 6 Existe una relación bidireccional entre Teoría y Experimento 7 Los experimentos son aplicaciones de la teoría					<i>Categorías de respuestas</i> 1 La teoría es el referente verdadero para comparar los resultados 3 Los datos llevan a las teorías y las teorías dependen de los experimentos 4 La teoría es necesaria para los experimentos			

**Cuadro 10-6.** Respuestas antes y después del curso, en la Situación I, ítem IG, instrumento CAEF, según el sistema de categorías y valoración (Anexo 9-C).

*Pregunta G:* ¿Consideras que en las teorías, leyes y modelos desarrollados por los científicos se realizan cambios?

Estudiante	Antes respuesta	Concepción	Después respuesta	Concepción
1	3	N	1	CE
2	1	CE	2	CNE
3	3	N	2	CNE
4	1	CE	2	CNE
5	2	CNE	2	CNE

*Categorías de respuesta*

- 1 Válidas para siempre, ya que lo establecieron los científicos
- 2 Crecimiento en lo teórico o lo metodológico
- 3 Cuando deja de explicar un fenómeno por avances experimentales (tecnológicos, precisión, otros)

Por último, en la situación I también se explora acerca de cómo ven la participación de la comunidad en la toma de decisiones y aceptación de resultados o validación de modelos. Se encontró que para los estudiantes, el rol principal de los seminarios es el de divulgación, noción que según este ítem no cambió con el curso (Cuadro 10-7).

**Cuadro 10-7.** Respuestas antes y después del curso, en la Situación I, ítem ID, instrumento CAEF, según el sistema de categorías y valoración (Anexo 9-C).

*Pregunta D:* En tu opinión, ¿cuáles son las intenciones de estos investigadores al realizar los seminarios?

Estudiante	Antes respuesta	Concepción	Después respuesta	Concepción
1	1	CE	1	CE
2	1	CE	1	CE
3	3	CNE	--	--
4	--	--	1	CE
5	5	N	3	CNE

*Categorías de respuestas*

- 1 Dar a conocer, mostrar, informar, explicar el trabajo y los resultados
- 3 Buscar opiniones; aceptar sugerencias y recomendaciones, mejorar procesos
- 5 Colaborar en el descubrimiento de nuevas cosas, aportar conocimientos nuevos

### 10.4.1.2 Análisis de resultados en la Situación II del CAEF, antes y después del curso.

La situación II del instrumento CAEF está en el contexto educativo. En su primer ítem se solicita la descripción de un plan para el diseño experimental de un TL. Los resultados antes del curso mostraron que los estudiantes centraban sus descripciones en la medición sin referencia a un modelo o considerando a la teoría como la fuente del valor *correcto*. Ninguno incluyó en su descripción acciones relativas al análisis o la interpretación de los datos a recolectar (Cuadro 10-8).

Después del curso se obtuvo que los estudiantes 1 y 5 hacen una descripción completa del diseño, es decir, incluyen acciones de medición (A), organización (C), análisis (E) y valoran la interrelación teoría-experimento. Mientras que los otros tres estudiantes mantienen descripciones centradas en la medición. La actividad de diseñar experimentos resulta ser una tarea compleja que requiere de mayor mediación didáctica.

**Cuadro 10-8.** Respuestas antes y después del curso, en la Situación II, ítem IIA, instrumento CAEF, según el sistema de categorías y valoración (Anexo 9-C).

*Pregunta A:* Si estuvieras en ese curso ¿cuál sería tu plan de trabajo para lograr el objetivo? (refiriéndose al problema experimental<sup>4</sup> planteado)

Estudiante	Antes	Tipo diseño	Concepción	Después	Tipo diseño	Concepción
1	A.1-C.3-E.6	I	CE	A.3-B.4-C.1-E.5	C	CNE
2	A.1	I	CE	A.1	I	CE
3	A.3-C.3	I	CE	A.3-C.3	I	CE
4	A.1-B.3-C.1	I	CE	A.3	I	CE
5	A.1-B.3-C.1	I	CE	A-3,B-1, E-4	C	CNE

Tipo de diseño: I. Incompleto; C. completo

#### *Categoría de la Acción*

- A.1 Señala qué medir (pares de h y d)
- A.3 Señala qué medir indicando variables y su rol
- B.1 Establece o aplica modelo teórico y deriva ecuaciones.
- B.3 Considera valores teóricos como lo correcto, lo válido
- B.4 Busca en la teoría aportes para el trabajo
- C.1 Indica cómo organizar datos (tablas)
- C.3 Plantea la acción de Graficar (y/o las transformaciones de las gráficas)
- E.4 Compara valores experimentales con valores teóricos
- E.5 Deriva ecuaciones de los datos, guiado por el modelo

<sup>4</sup> Caída de una esfera desde una rampa hasta el piso en donde la meta era estudiar la relación entre la altura (distancia entre la mesa y la posición inicial) y la distancia horizontal desde que abandona la rampa hasta que choca con el piso.

En la situación II se presentan dos preguntas, ítem IIB e ítem IIC, que indagan sobre la concepción de los estudiantes acerca de los datos en un experimento. Los resultados antes del curso arrojaron que si bien los estudiantes consideran necesario hacer más de una medida, la razón fundamental es asegurarse del valor, eliminar las equivocaciones; sólo dos estudiantes consideran el promedio como representación de un conjunto de datos. Estos resultados parecen evidenciar la noción de *dato como punto*, en el sentido expresado por Buffler y otros (2001). Después del curso, en tres estudiantes (1, 3, 4) se observa un movimiento hacia concepciones CNE. Mientras que los estudiantes 2 y 5 continúan con su visión de dato como punto (Cuadro 10-9).

**Cuadro 10-9.** Respuestas de los estudiantes antes y después del curso, en la Situación II, ítem IIB e IIC del instrumento CAEF, codificadas según el sistema de categorías y valoración del Anexo 9-C.

Estudiante	<i>Pregunta B: ¿Con quién estas de acuerdo? ¿Por qué? (se refiere a las tres posibles acciones enunciadas en la pregunta: medir una sola vez (E3), medir otra vez para asegurarse (E2), medir varias veces (E1))</i>				<i>Pregunta C: ¿Cómo presentarías el resultado si fueses miembro del grupo? (referido un conjunto de medidas de distancia para una misma altura)</i>			
	Antes respuesta	Concepción	Después respuesta	Concepción	Antes respuesta	Concepción	Después respuesta	Concepción
1	7	CE	4	CNE	2	CE	3	CNE
2	2	CE	6	N	4	CE	2	CE
3	7	CE	4	CNE	3	CNE	3	CNE
4	6	N	4	CNE	3	CNE	3	CNE
5	4	CNE	6	N	3	CNE	2	CE
	<i>Categorías de respuesta</i> 2 Basta para aplicar la formula 4 Disminuir error, mejor resultado, lograr fiabilidad 6 Mas precisión 7 Asegurarse de la medida correcta elimina equivocaciones o factores extraños				<i>Categorías de respuesta</i> 2 Promedio de los datos 3 Promedio y desviación de los datos 4 Plantea una reorganización física, por ejemplo la tabla en vertical			

Otro aspecto importante en la actividad experimental y que se observa como problemático para los estudiantes es su concepción acerca de la interpretación de los datos. Este tópico es evaluado en la Situación II con el ítem II D.1, en el cual se presentan dos gráficas construidas por estudiantes y se les solicita indicar qué hacer para interpretar los datos que recogen las mismas. De las respuestas procesadas y analizadas tenemos que los estudiantes 3 y 4 mantienen claridad en relación con la

tarea. El resto de los estudiantes (1, 2 y 5) consideran antes del curso que interpretar datos implica acciones dirigidas a reducir errores o representarlos mejor, o no responden; después del curso, dos de ellos (1 y 5) parecen haber alcanzado mayor claridad en cuanto a que interpretar datos amerita establecer una interrelación entre ellos y los modelos que ya tenemos o que construimos, mientras que el estudiante 2 mantiene una concepción de tipo CE (Cuadro 10-10).

**Cuadro 10-10.** Respuestas de los estudiantes antes y después del curso, en la Situación II, ítem IID.1 del instrumento CAEF, codificadas según el sistema de categorías y valoración del Anexo 9-C.

*Pregunta D.1:* Indica lo qué debería hacer cada grupo para interpretar los datos a fin de lograr el objetivo? (los datos de dos supuestos grupos de estudiantes aparecen en gráficas, en uno, sólo están los puntos de los datos y se observan mas dispersos (C), mientras que en el otro gráfico están representadas las barras de error de las medidas y se observan los datos bastante alineados (D))

Estudiante	Antes respuesta	Concepción	Después respuesta	Concepción
1	5	CE	6	CNE
2	3-4	N	1-2-3	CE
3	6	CNE	6	CNE
4	4-6	CNE	6	CNE
5	--	--	6	CNE

*Categorías de respuestas*

- 1 Considera el conjunto de datos del grupo D como perfecto o mejor, propone que el otro grupo se acerque a esto
- 2 Recomienda al grupo C mostrar errores en la gráfica
- 3 Recomienda al grupo C tomar mas datos
- 4 Propone mejoras de estilo en el gráfico
- 5 Supone una relación (lineal o parabólica) derivada de los datos, y calcula pendiente o establece relación funcional
- 6 Establece una relación teórica y analiza la relación funcional entre los datos según este modelo

Para finalizar, la Situación II plantea la posibilidad de encontrar resultados que discrepan, y propone el debate entre grupos como vía para la toma de decisiones, todo ello en el contexto educativo. Las respuestas muestran que antes del curso sólo dos estudiantes, 1 y 5, valoran la discusión entre pares y aceptan la pluralidad de resultados; mientras que el resto si bien valora el debate, lo hace en función de la búsqueda del valor correcto o la respuesta única. Después del curso, los estudiantes 1 y 5 mantienen su concepción inicial tipo CNE; el estudiante 2 también mantiene su concepción tipo CE; y los estudiantes 3 y 4 evolucionan hacia ideas del tipo CNE (Cuadro 10-11).

**Cuadro 10-11.** Respuestas antes y después del curso, en la Situación II, ítem IID.2, instrumento CAEF, según el sistema de categorías y valoración (Anexo 9-C).

*Pregunta D.2:* Alguien propone que los grupos C y D comparen y discutan sus resultados ¿qué opinas de esta sugerencia?

Estudiante	Antes respuesta	Concepción	Después respuesta	Concepción
1	1	CNE	1	CNE
2	3	CE	2	CE
3	2	CE	1	CNE
4	2	CE	1	CNE
5	1	CNE	1	CNE

*Categorías de respuesta*

1. Buscar opiniones; aceptar sugerencias, recomendaciones; mejorar procesos, contrastar condiciones. Pluralidad
2. Discutir para llegar a una conclusión única
3. Discriminar qué grupo fue mejor (mas preciso, correcto) pensado en una solución correcta

#### **10.4.1.3 Análisis de resultados de la Situación III del CAEF, antes y después del curso.**

La situación III se da en el contexto de una confrontación de dos grupos de investigadores que interpretan una misma data experimental con diferentes modelos. Las preguntas que se proponen están dirigidas a explorar las ideas de los estudiantes en cuanto a la actividad de interpretación de los datos y la pluralidad de las interpretaciones (ítem A y B), así como el rol que tiene la comunidad en la toma de decisiones sobre las conclusiones a aceptar (ítem C).

Los resultados encontrados con esta situación III en el ítem A, muestran que antes del curso, los estudiantes 3 y 4 consideran la actividad de interpretar como un proceso de comparación entre datos y modelo; y los estudiantes 1 y 2 conciben que interpretar implica mejorar la gráfica. Después del curso, con excepción del estudiante 2, mostraron un movimiento favorable hacia la concepción CNE o se mantuvieron en su posición (Cuadro 10-12).

**Cuadro 10-12.** Respuestas antes y después del curso, en la Situación III, ítem IIIA, instrumento CAEF, según el sistema de categorías y valoración (Anexo 9-C).

*Pregunta A:* ¿Qué podría hacer el grupo JOULE para interpretar estos datos?

Estudiante	Antes			Después		
	Acción	Fin	Concepción	Acción	Fin	Concepción
1	5	2	CE	2	1	CNE
2	4	1	CE	4	2	CE
3	2	1	CNE	2	1	CNE
4	2	2	CNE	5-2	1	CNE
5	--	--	--	2	1	CNE

*Categorías de respuesta. Acciones*

2 Comparar los datos con una curva teórica que desarrolla

4 Sugerencias de mejora del procedimiento experimental

5 Mejoras en el trazado de gráfica

*Categorías de respuesta. Fin*

1. Verificar predicciones, sintetizar datos, ajuste de tendencias.

2. Llegar a conclusiones sobre la relación

El ítem IIIB también referido a la tarea de interpretar, plantea un dilema adicional, como es la pluralidad de interpretaciones. Ante esta cuestión, antes del curso, tres estudiantes manifestaron desacuerdo con la pluralidad y plantearon acciones dirigidas a la búsqueda de una respuesta única; mientras que dos sí aceptaron esta posibilidad. Sin embargo, después del curso, con excepción del estudiante 1 que no respondió y el 5 que cambia a una visión de tipo CNE, los otros tres consideraron que se debe buscar una solución única (Cuadro 10-13). Estos resultados pueden deberse al hecho de que consideren que como los datos que analizan ambos grupos son los mismos, las interpretaciones también deben serlo, como si éstas tuviesen que ver sólo con los datos.

**Cuadro 10-13.** Respuestas antes y después del curso, en la Situación III, ítem IIIB, instrumento CAEF, según el sistema de categorías y valoración (Anexo 9-C).

*Pregunta B:* ¿Que opinas acerca de estas dos interpretaciones?

Estudiante	Antes respuesta	Concepción	Después respuesta	Concepción
1	4	CE	--	--
2	1	CNE	4	CE
3	5	CE	3	CE
4	1	CNE	3	CE
5	4	CE	2,3	CNE

*Categorías de respuestas*

1. Acepta ambas interpretaciones, no es posible discriminar entre ellas

2. No es claro quien construyó la mejor curva, sólo es posible diferenciar si analizo con detalle los modelos

3 No esta claro quien construyó la mejor curva, sólo se podrá discriminar si se recogen más datos

4 Descalifica a alguno de los dos grupos por considerar que el modelo se ajusta mejor a los datos

5 Propone revisar los dos modelos y experimentos para que sean iguales los resultados.

El ítem IIIC contiene varios planteamientos referidos a la toma de decisiones por parte de los grupos de científicos, ante las cuales los estudiantes deben indicar si están o no de acuerdo y por qué. Los ítem IIIC.1 y IIIC.2) invalidan una de las dos interpretaciones, aceptando la otra como correcta; los resultados en estos casos se exponen en el Cuadro 10-14. Se observa que antes del curso, en los dos ítem, los estudiantes 3, 4 y 5 no están de acuerdo con la decisión pues consideran que primero hay que comparar, pero siempre en busca de una respuesta única, y el estudiante 1 está de acuerdo pues es necesario encontrar una sola conclusión. Después del curso, el estudiante 1 mantiene sus ideas iniciales, el estudiante 4 no responde, y los estudiantes 3 y 5 movilizan su posición hacia la CNE. La idea de una respuesta única parece estar muy arraigada en estos estudiantes.

**Cuadro 10-14.** Respuestas antes y después del curso, en la Situación III, ítem IIIC.1 y IIIC.2, instrumento CAEF, según el sistema de categorías y valoración (Anexo 9-C).

Estudiante	C.1 Válida grupo Joule				C.2 Válida grupo Watt			
	Antes		Después		Antes		Después	
	Respuesta	Concepción	Respuesta	Concepción	Respuesta	Concepción	Respuesta	Concepción
1	5	CE	5	CE	4	CE	4	CE
2	--	--	5	CE	--	--	4	CE
3	2	CE	3	CNE	2	CE	3	CNE
4	2	CE	--	--	2	CE	--	--
5	2	CE	3	CNE	2	CE	3	CNE

*Categorías de respuesta*

- 1 Discernir cuál es la conclusión correcta internamente o con otros trabajos
- 2 Hay que comparar para generalizar
- 3 Acepta varias interpretaciones como posibles
- 4 No avala la interpretación o los datos del grupo
- 5 Una conclusión única es necesaria.

Los ítem IIIC.3 y 4 plantean decisiones relacionadas con los datos, recolectar más datos o disminuir el error, como una vía para dirimir la discrepancia, en un caso buscando la respuesta correcta y en otro, buscando el modelo que mejor se ajuste. Los resultados se exponen en el Cuadro 10-15. Los resultados antes y después del curso muestran que, aún cuando los estudiantes están de acuerdo con las acciones propuestas, tienen poca claridad en cuanto a cómo ellas contribuyen a establecer si una

interpretación se ajusta mejor a los datos que otra. Se observa poca evolución hacia concepciones de tipo CNE.

**Cuadro 10-15.** Respuestas antes y después del curso, en la Situación III, ítem IIIC.(3-4) instrumento CAEF, según el sistema de categorías y valoración (Anexo 9-C).

Estudiante	C.3 Coleccionar más datos para demostrar más allá de la duda razonable qué grupo está en lo correcto				C.4 Reducir los errores en las medidas para demostrar más allá de duda razonable qué modelo da la mejor interpretación			
	Antes		Después		Antes		Después	
	Respuesta	Concepción	Respuesta	Concepción	Respuesta	Concepción	Respuesta	Concepción
1	3	CE	6	CNE	3-4	CE	3	CE
2	2	CE	1	N	4	CE	4	CE
3	3	CE	1	N	4	CE	2	CNE
4	6	CNE	2	CE	1	CNE	3	CE
5	1	N	6	CNE	3	CE	1	CNE
<i>Categorías de respuesta</i> 1 Lograr más precisión, menor error 2 Demostrar cuál es el resultado correcto 3 Es mejor para dar respuesta, y conclusiones con mas profundidad 6 Es posible que las dos interpretaciones sean coherentes					<i>Categorías de respuesta</i> 1 Esto permite ver qué interpretación describe mejor el fenómeno 2 Esto no disminuye la discrepancia entre los modelos y los resultados 3 La representación gráfica es más válida 4 Se reducen los factores intervinientes, hay más control			

Por otra parte, el ítem IIIC.5 propone la revisión de los modelos presentados por los grupos antes de tomar decisiones; con lo cual los estudiantes 1, 3 y 4, en las dos aplicaciones del instrumento, estuvieron de acuerdo con que la comunidad debería hacerlo para llegar a un consenso y validar los modelos. Sin embargo, el estudiante 2 se mantiene en la idea de la respuesta única, y para ello acepta el análisis lógico de los modelos, dejando fuera de esta discusión la dimensión social (Cuadro 10-16).

**Cuadro 10-16.** Respuestas antes y después del curso, en la Situación III, ítem IIIC.5, instrumento CAEF, según el sistema de categorías y valoración (Anexo 9-C).

Estudiante	Antes		Después	
	Respuesta	Concepción	Respuesta	Concepción
1	2	CNE	2	CNE
2	3	CE	3	CE
3	2	CNE	2	CNE
4	2	CNE	2	CNE
5	4	N	2	CNE

- Categorías de respuesta*
- 2 Consensuar y validar el o los modelos
  - 3 Saber si tienen consistencia lógica con la fenomenología, llegar al modelo correcto
  - 4 Los modelos son parecidos

Por último, el ítem IIIC.6 plantea el rechazo por parte de la comunidad a los dos modelos, y el ítem IIIC.7 propone la imposibilidad de poder establecer cuál es correcto y de aceptar las dos interpretaciones. Ante estas cuestiones poco comunes en el contexto de los laboratorios de la universidad, se encontraron los siguientes resultados: en el ítem IIIC.6 antes del curso responden tres estudiantes, de los cuales dos no están de acuerdo pues suponen que debe existir un valor correcto, mientras que el estudiante 5 acepta esta posibilidad como parte del progreso de la ciencia. Después del curso se observa un movimiento en las ideas hacia el tipo CNE, en los estudiantes 1 y 3; mientras que los estudiantes 4 y 5 mantienen su postura inicial, CE y CNE, respectivamente (Cuadro 10-17).

En el caso del ítem IIIC.7 los resultados antes del curso evidencian posiciones de tipo CNE y CE, mientras que después del curso cuatro estudiantes coinciden en que debe existir una sola interpretación, no admiten que la comunidad acepte los dos modelos como posibles. Esta idea de una única solución, única interpretación parece estar muy arraigada en el contexto de la enseñanza de la física, probablemente, debido a que se trabaja con conocimientos de la ciencia que ya la comunidad científica discute poco, y son presentados como no cuestionables. Además, en el laboratorio persiste la tradición de plantear experimentos *que dan*, lo que no contribuye a cambiar esta visión de interpretación única.

**Cuadro 10-17.** Respuestas antes y después del curso, en la Situación III, ítem IIIC.(6-7) instrumento CAEF, según el sistema de categorías y valoración (Anexo 9-C).

Estudiante	Antes		Después		Antes		Después	
	Respuesta	Concepción	Respuesta	Concepción	Respuesta	Concepción	Respuesta	Concepción
1	--	--	3	CNE	2	CE	2	CE
2	--	--	--	--	3	CNE	2	CE
3	1	CE	3	CNE	2	CE	2	CE
4	1	CE	2	CE	--	--	--	--
5	3	CNE	3	CNE	1	CNE	2	CE
C. 6 Ninguno de los dos grupos ha logrado explicar los datos correctamente. Hay que extraer de los datos otra interpretación					C.7 Los científicos aceptan que puede haber más de una interpretación de estos datos. No hay manera de encontrar cuál interpretación es la correcta.			
Categorías de respuesta 1 Supone una interpretación preestablecida y válida 2 Considera a las dos interpretaciones correctas, coherentes, válidas o lógicas 3 La decisión es tomada por la comunidad					Categorías de respuesta 1 Valora el consenso y la discusión entre pares para la toma de decisiones 2 Debe existir una sola interpretación 3 Acepta más de una interpretación			

Este análisis cualitativo por situaciones permite observar algunos cambios favorables en los estudiantes con algunos saltos atrás, es decir, paso de concepción tipo CNE a concepción tipo CE. La hipótesis planteada en este trabajo es que se daría una evolución favorable debido al efecto de los tres TLs, los resultados obtenidos los consideramos como aceptables, ya que los cambios en la visión que una persona desarrolla en torno a la ciencia ocurren a largo plazo, en este caso el curso experimental transcurrió en cuatro meses durante los cuales se llevaron a cabo tres TLs. Probablemente, si todos los cursos de laboratorio enfatizaran de manera explícita la interrelación entre teoría y experimento, y la noción probabilística de los datos y la noción de pluralidad de los modelos, se logren cambios más profundos e importantes.

Los resultados a efecto de este análisis también fueron procesados en atención a la valoración dada a las categorías de respuesta (Anexo 9-C), la cual como se indicó anteriormente, puede ser: concepción estándar, CE (valor 3); concepción no estándar, CNE (valor 1); y posición neutra (valor 2). Esta última puede ocurrir porque la respuesta es una acción u opinión sin sesgo hacia una concepción. En el Cuadro 10-18 se sintetizan estos valores. También se determinó la moda<sup>5</sup> entre los valores obtenidos en los ítem de cada situación, en este caso el valor neutral (2) puede significar la presencia de concepciones mezcladas en igual proporción.

Con el fin de visualizar con más facilidad estos resultados se presenta un gráfico de los valores modales de la concepción de cada estudiante en las tres situaciones, antes y después del curso (Figura 10-1).

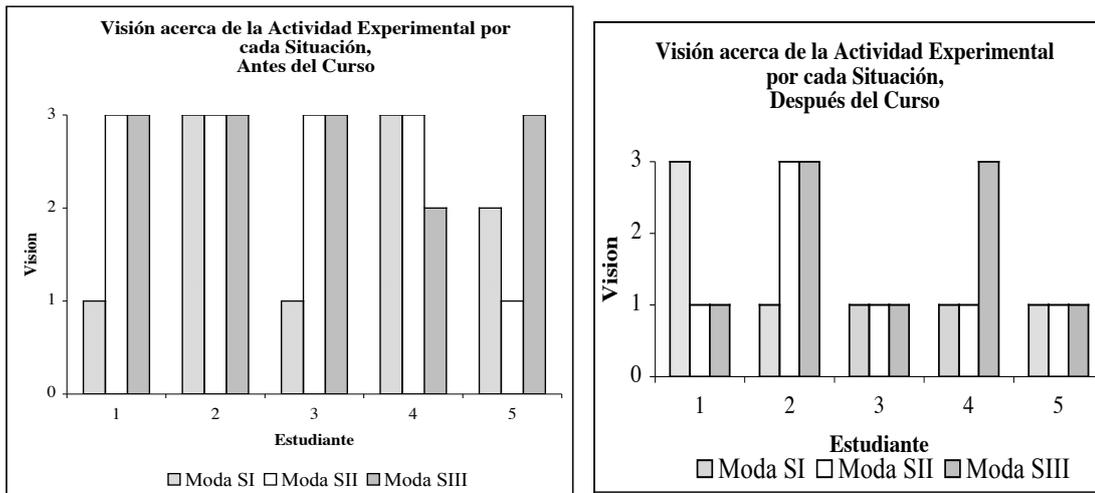
---

<sup>5</sup> Criterios: N° de CNE = N° de CE; ó N° de CNE = N° de CE = No. de neutro, se consideró Neutro  
N° de CNE = N° de neutro, se consideró CNE  
N° de CE = N° de neutro, se consideró CE.

**Cuadro 10-18.** Síntesis de las respuestas de los estudiantes en el instrumento CAEF, antes (1) y después (2) del curso, según el sistema de categorías y valoración (Anexo 9-C). (Concepción estándar, CE=3; concepción no estándar, CNE=1; neutral, N=2)

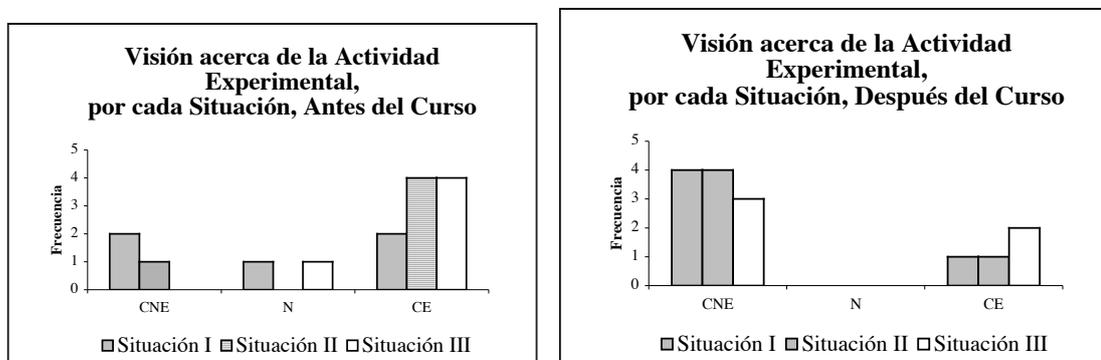
Pregunta	Antes del Curso					Después del Curso				
	Estudiante					Estudiante				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
IA	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1
IB	1	2	2	3	2	3	2	1	3	2
IC	--	3	1	2	2	--	1	1	1	1
ID	3	3	1	--	2	3	3	--	3	1
IE	3	3	--	--	3	3	--	--	--	3
IF	1	2	3	2	1	3	2	2	1	1
IG	2	3	2	3	1	3	1	1	1	1
<i>Moda</i>	<i>1</i>	<i>3</i>	<i>1</i>	<i>3</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>1</i>	<i>1</i>	<i>1</i>	<i>1</i>
II2.A	3	3	3	3	3	1	3	3	3	--
II2.b	3	3	3	2	1	1	2	1	2	2
II2.c	3	3	1	1	1	1	3	1	1	3
2.d.1	3	2	1	1	--	1	3	1	1	1
2.d.2	1	3	3	3	1	1	3	1	1	1
<i>Moda</i>	<i>3</i>	<i>3</i>	<i>3</i>	<i>3</i>	<i>1</i>	<i>1</i>	<i>3</i>	<i>1</i>	<i>1</i>	<i>1</i>
III.2AInt	3	3	<i>1</i>	<i>1</i>	--	<i>1</i>	3	<i>1</i>	1	<i>1</i>
III2.2.b	3	1	3	1	3	--	3	3	3	1
IIIC.3.1	3	--	3	3	3	3	3	1	--	1
IIIC.3.2	3	--	3	3	3	3	3	1	--	1
IIIC.3.3	3	3	3	1	2	1	2	2	3	1
IIIC.3.4	3	3	3	1	3	3	3	1	3	1
IIIC.3.5	1	3	1	1	2	1	3	1	1	1
IIIC.3.6	--	--	3	3	1	1	--	1	3	3
IIIC.3.7	3	1	3	--	1	3	3	3	--	3
<i>Moda</i>	<i>3</i>	<i>3</i>	<i>3</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>1</i>	<i>3</i>	<i>1</i>	<i>3</i>	<i>1</i>

**Figura 10-1.** Valores modales de los estudiantes en las tres situaciones del instrumento CAEF, antes y después del curso (Visión: CE=3, N=2, CNE=1).



Se observa que los estudiantes 3 y 5 finalizan con un predominio de nociones CNE en las tres situaciones; el estudiante 4 evoluciona hacia nociones tipo CNE en las situaciones I y II, pero pasa a una concepción tipo CE en la situación III. El estudiante 1 evoluciona hacia nociones tipo CNE en las situaciones II y III, pero pasa de una concepción tipo CNE hacia una concepción tipo CE en la situación I. El estudiante 2 mantiene su concepción CE en las situaciones I y III, y cambia de visión CE a visión CNE en la situación II.

**Figura 10-2.** Frecuencia de valores modales en las tres situaciones del instrumento CAEF, antes y después del curso (Visión: CE=3, N=2, CNE=1)



En la Figura 10-2 se puede observar el cambio por cada situación, encontrando que la situación II fue en la que mayor evolución favorable ocurrió. Una posible explicación es que la situación II se refiere al contexto educativo, y la experiencia con los TLs que se realizaron en el curso, dirigidos a mediar para lograr cambios en el dominio epistemológico incidieron sobre la manera de mirar este tipo de situación.

En el siguiente apartado se presentan integrados los resultados de los ítem del instrumento en atención a las preguntas que guiaron la construcción del mismo (Cuadro 10-1).

#### 10.4.2 Resultados por cada pregunta guía del CAEF

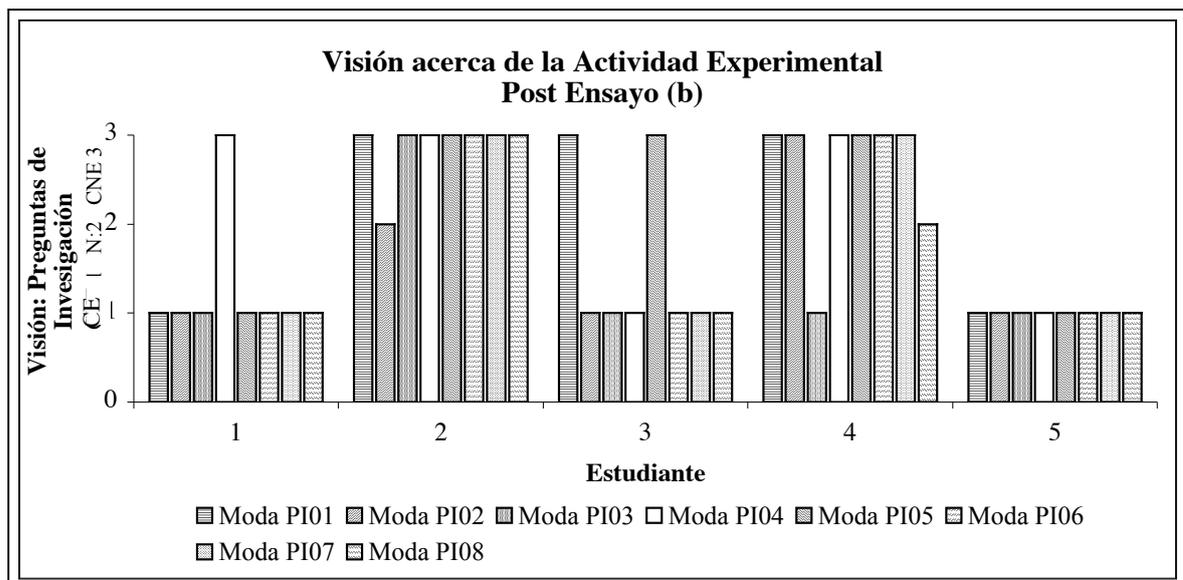
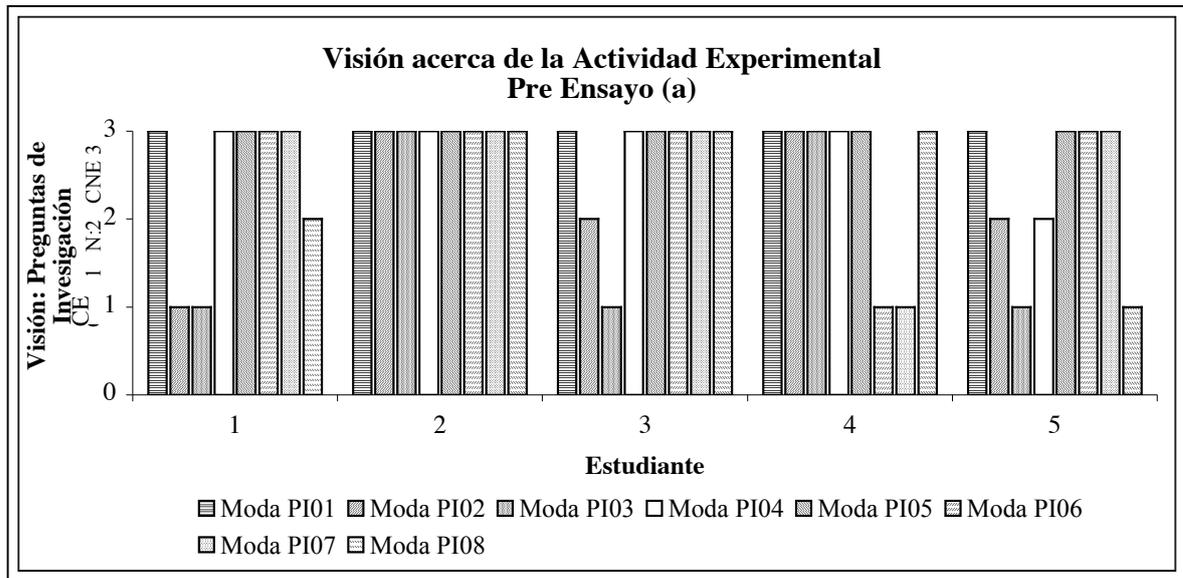
Los resultados a efecto de este análisis fueron procesados en atención a la escala<sup>6</sup> empleada para la valoración dada a las categorías de respuesta (Anexo 9-C). Se determinó la moda entre los valores obtenidos en los ítem que dan cuenta de las respectivas preguntas que guían el instrumento CAEF (Cuadro 10-1). Estos resultados se sintetizan en el Cuadro 10-19 y se representan en la Figura 10-3a y 10-b.

**Cuadro 10-19.** Valores modales de las respuestas integradas según Preguntas guía del instrumento CAEF, antes (1) y después (2) del curso. (Concepción estándar, CE=3; concepción no estándar, CNE=1; neutral, N=2)

Pregunta	Antes del Curso					Después del Curso				
	Estudiante					Estudiante				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
PI01	3	3	3	3	3	1	3	3	3	1
PI02	1	3	2	3	2	1	2	1	3	1
PI03	1	3	1	3	1	1	3	1	1	1
PI04	3	3	3	3	2	3	3	1	3	1
PI05	3	3	3	3	3	1	3	3	3	1
PI06	3	3	3	1	3	1	3	1	3	1
PI07	3	3	3	1	3	1	3	1	3	1
PI08	2	3	3	3	1	1	3	1	2	1

<sup>6</sup> Concepción estándar, CE (valor 3); concepción no estándar, CNE (valor 1); y posición neutra (valor 2)

**Figura 10-3.** Valores modales por estudiante en las tres situaciones del instrumento CAEF, antes y después del curso.



Los resultados anteriores permiten evaluar la evolución en los estudiantes por cada pregunta en términos de: cambio *positivo* cuando pasa a la CNE, *negativo* cuando pasa a la CE, o *igual* cuando no varía (Cuadro 10-20); con lo cual se encuentra que:

- Estudiante 5: tuvo seis cambios positivos (preguntas 1, 2, 4, 5, 6 y 7) referidas a: concepción de experimento y concepción en la relación teoría y experimento, estatus del laboratorio, criterios empleados para la validación de los modelos y rol de la comunidad. Y se mantuvo en su concepción CNE en el resto de las cuestiones.

- Estudiante 1: tuvo cinco cambios positivos (preguntas 1, 5, 6, 7 y 8) que se refieren a su concepción de: experimento, datos, interpretación y rol de la comunidad; además, en las preguntas 2 y 3 -estatus del laboratorio y rol de la interrelación teoría-experimento- mantiene su concepción CNE; no logrando superar su concepción CE en cuanto a los criterios empleados para la validación de los modelos.
- Estudiante 3: logra cinco cambios positivos (preguntas 2, 4, 6, 7, 8) que se refieren a: estatus del laboratorio, criterios empleados para la validación de los modelos, datos, interpretación y rol de la comunidad; conserva su concepción CNE en cuanto a la interrelación teoría-experimento y el origen de los experimentos; y su concepción CE en cuanto a lo que implica hacer un experimento.
- Estudiante 4: mantuvo su posición CE en seis preguntas, experimentando un cambio positivo en la pregunta 3 y un cambio negativo en la pregunta 6.
- Estudiante 2: no experimentó cambios, manteniendo su concepción estándar, CE.

**Cuadro 10-20.** Cambios en las concepciones de los estudiantes por Preguntas que guían el instrumento CAEF, antes y después del curso.

Estudiante	Pregunta							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	+	=	=	=	+	+	+	+
2	=	=	=	=	=	=	=	=
3	=	+	=	+	=	+	+	+
4	=	=	+	=	=	-	-	=
5	+	+	=	+	+	+	+	=

(Cambio positivo, pasa a CNE; cambio negativo, pasa a CE; igual, no varía la concepción)

## 10.5 CONCLUSIONES

El objetivo del estudio reportado en este capítulo era evaluar la *contribución* de un *curso de laboratorio* en el cual se llevaron a cabo tres TL *según el MATLaF* guiados por un plan de acción que derivado de la epistemología de la ciencia, *sobre la visión acerca de la actividad experimental* de los estudiantes.

La construcción de una visión acerca de la naturaleza de la ciencia, y por lo tanto, de la actividad experimental, es resultado de múltiples factores; entre ellos, la educación científica que reciben los estudiantes. La visión epistémica que sustenta a sus ideas y acciones, es progresiva y depende del tipo de experiencias que tengan los estudiantes.

El trabajo de laboratorio es considerado como el medio que más influencia puede tener sobre la formación de una visión acerca de la naturaleza de la ciencia; sin embargo, esto no es algo que se logre con un curso o asignatura, sino que con avances y retrocesos, ocurre a largo plazo, al igual que ocurre con el desarrollo conceptual. Por tal razón, en este estudio si bien se esperaba haber influido en la visión que tienen los estudiantes acerca del trabajo experimental, debido a la intencionalidad de la intervención realizada, los cambios no tienen por que ser muy notables, puesto que con tres TLs no es suficiente para ofrecerle a los estudiantes una diversidad de situaciones en las cuales se pongan en acción los conceptos y teoremas relevantes para la construcción de una visión próxima a la concepción no estándar de la ciencia.

Los resultados en relación a los objetivos específicos de orden epistemológico previstos para el TL del ensayo que se reportaron en el capítulo anterior, evidenciaron logros puntuales. Como vimos, tres de los cinco estudiantes<sup>7</sup> mostraron mayor conciencia del proceso indagatorio realizado, fundamentalmente, reconocieron cómo ocurre la interrelación entre la teoría y el experimento en distintos momentos del TL ejecutado. De los otros dos<sup>8</sup>, se obtuvo que el estudiante 1 manifestó en sus reflexiones tener conciencia de aspectos como el diseño experimental, sin embargo, en su reporte de laboratorio reflejó que tenía dificultades para comunicar el trabajo de manera integrada, por ejemplo, su análisis conceptual era un resumen del tema de ondas; y la estudiante 2 expresó tener dificultades con aspectos como: la relación teoría-experimento, la transformación y el análisis, además, su reporte era un reflejo de aplicación de reglas o normas que evidenciaban poco significado.

El instrumento CAEF evalúa el dominio epistemológico a un nivel más general, además, se hace en tres contextos diferentes, dos científicos y uno educativo. Los resultados obtenidos con estos mismos estudiantes en el contexto educativo, Situación II, muestran que:

i) La estudiante 2 mantiene sus opiniones en la concepción CE, en decir, continúa centrando su diseño en el que medir, tiene una visión acerca de los datos como valores correctos en sí mismos cuyo valor exacto depende de un buen procedimiento de medida, y donde la interpretación es básicamente la descripción de los cambios de una variable con otra; esto se corresponde en buena medida con sus resultados en el ensayo.

---

<sup>7</sup> Códigos de estudiantes: E6L = 3 en CAEF; E4J = 4 en CAEF y E5Y = 5 en CAEF.

<sup>8</sup> Códigos de estudiantes: E1C = 1 en CAEF; E2HJ = 2 en CAEF

ii) En relación con lo que implica hacer un experimento, los estudiantes 1 y 5 presentaron diseños que consideran tanto los aspectos asociados con el qué y cómo medir como con las acciones dirigidas a la comparación entre los datos y los modelos. Lo cual se corresponde con sus resultados en el ensayo. Por el contrario, los estudiantes 3 y 4, centraron -en el CAEF- su diseño sólo en la medición, en cambio, en sus reportes y entrevistas mostraron una comprensión de la complejidad del diseño de un experimento. Es importante destacar que todos los estudiantes manifestaron que nunca antes se habían visto ante la necesidad de diseñar el experimento, pues en sus anteriores experiencias de laboratorio anteriores los diseños ya estaban preparados por el profesor.

iii) En relación a cómo conciben los datos, se observa que los estudiantes 1 y 3 pasaron de una concepción CE (visión de que la medida debe ser única) a una visión CNE (donde se considera el error como algo inherente a la medida); el estudiante 4 pasa de una respuesta tipo neutral (una sola medida sería poco preciso) a una respuesta de tipo CNE (ello permite tener menos error). Por último, el estudiante 5 mantiene su visión de tipo CNE, expresando que hay que hacer más medidas para tener un valor equivalente al conjunto con menos error. Estos resultados se corresponden con lo encontrado en los reportes del ensayo, donde los cuatro estudiantes expresaban las medidas con sus respectivas incertezas o errores según el caso.

iv) En relación con la interpretación de los datos, los cuatro estudiantes, pasan a una concepción de tipo CNE o se mantienen en ella. En sus reportes también se pudo observar un cambio importante ante esta tarea experimental.

Los resultados encontrados con el CAEF en las situaciones I y III, cuyo contexto era el científico, difieren en relación con lo encontrado de manera específica en el ensayo. Esto podría tener dos justificaciones: i) El cambio en la concepción acerca de naturaleza de la ciencia se relaciona con las experiencias que han tenido los estudiantes, y además, su visión está asociada con el tipo de contexto; si bien el TL del ensayo estaba dirigido a influir sobre el dominio epistemológico, éste se desarrolla en el marco educativo, el cual no puede considerarse equivalente al ámbito científico, por lo que sería poco probable esperar una evolución en sus ideas ante situaciones de contexto científico con sólo tres TL enmarcados en curso de laboratorio. ii) La probabilidad de influir en la visión epistemológica global con TLs del ámbito educativo podría darse a largo plazo enfrentando a los estudiantes a más y diversas situaciones que incluyan circunstancias y hechos propios del quehacer de la ciencia.

Estos resultados ratifican que si queremos mediar para que los estudiantes construyan una concepción sobre la actividad experimental en física próxima a la visión CNE, es necesario exponerlos ante TLs cuyo enfoque tome en consideración una variedad de situaciones particulares dentro de los dominios teórico, metodológico y epistemológico, de manera integrada. Lo que significa que el desarrollo de esta concepción sólo es posible a largo plazo. Además, resulta necesario definir el campo conceptual, CC, relativo a la actividad experimental, con clases de situaciones dirigidas a poner en acción las diferentes tareas propias del quehacer experimental, en las que se expliciten diferentes aspectos de los conceptos y teoremas de dicho CC. Además, estas situaciones estarían referidas según las diversas áreas de contenido de la física que se enseñan en los cursos de teoría. Con todo ello se podría construir un diseño curricular progresivo para los cursos de laboratorio.

También puede resultar pertinente para contribuir con el desarrollo de este pensamiento científico en los estudiantes del profesorado, su participación en grupos de investigación científica a modo de pasantías y en cursos específicos de epistemología de la Física.

## **CAPÍTULO 11**

# **CONCLUSIONES GENERALES E IMPLICACIONES PARA LA ENSEÑANZA DE LA FÍSICA EN LOS CURSOS DE LABORATORIO**

## **CAPÍTULO 11**

# **CONCLUSIONES GENERALES E IMPLICACIONES PARA LA ENSEÑANZA DE LA FÍSICA EN LOS CURSOS DE LABORATORIO**

### **11.1 INTRODUCCIÓN**

En este capítulo se integran las conclusiones del trabajo en atención a las preguntas de investigación expuestas en el capítulo seis. Además, derivado de estos resultados, se construye una primera aproximación del Campo Conceptual referido a la actividad experimental, el cual es factible considerarlo para identificar y secuenciar el contenido de enseñanza de los cursos de laboratorio en el nivel universitario, en el marco de una implementación didáctica derivado del modelo MATLaF propuesto y evaluado en este trabajo.

### **11.2 CONCLUSIONES GENERALES ACERCA DEL TRABAJO DE LABORATORIO SEGÚN EL MATLaF**

El Trabajo de Laboratorio (TL) propuesto como espacio de resolución de problemas, es una tarea compleja que demanda la activación de conceptualizaciones provenientes tanto del dominio teórico como del dominio metodológico, en una permanente interrelación. En este contexto y desde la perspectiva cognitiva, el abordaje de la situación-problema planteada para el TL ha sido interpretado mediante el modelo MATLaF. Dicho modelo fue construido a partir de la teoría de Campos Conceptuales de Vergnaud (1990), dirigida básicamente, hacia la comprensión de los procesos de conceptualización del sujeto en acción; acción de orden cognitiva que ocurre cuando el sujeto se enfrenta a la resolución de problemas.

Por otra parte, desde la perspectiva epistemológica, el TL ha sido orientado en este trabajo, según una visión de la actividad experimental científica próxima a la Concepción No estándar de la Ciencia descrita en el Capítulo cuatro. Ésta plantea el TL como una interrelación entre los dominios teórico y metodológico, de la que se deriva

un plan de acción que da cuenta del proceso indagatorio en la actividad experimental y pone en evidencia la complejidad del mismo.

Con miras a validar la efectividad de los TLs diseñados con base en estas dos vertientes, se desarrolló y evaluó una intervención didáctica en el contexto de un Curso de laboratorio para estudiantes de profesorado de física<sup>1</sup>. Los resultados del ensayo permitieron derivar un conjunto de conclusiones, que se organizaron en función de las tres líneas de indagación que fueron presentadas en el capítulo seis. Éstas son:

1. Concepciones de los estudiantes universitarios acerca de la actividad experimental en física.
2. Nivel de desarrollo conceptual de los estudiantes en relación con la actividad experimental en el contexto de las aulas de física.
3. La efectividad del Trabajo de Laboratorio según el modelo MATLaF y las orientaciones epistemológicas establecidas, sobre el desarrollo conceptual (teórico, metodológico y epistemológico) de los estudiantes en el campo de la Física.

### **11.2.1. Concepciones de los estudiantes universitarios acerca de la Actividad Experimental en Física**

La manera en que se incorpora el trabajo de laboratorio en el currículo de ciencias y la forma como se implementa y desarrolla en la enseñanza, se ve afectada por la visión epistemológica que tengan los docentes acerca de la naturaleza de la ciencia, y en particular, del rol de la actividad experimental en la construcción del conocimiento científico. En lo referente a la forma como se desarrolla el trabajo de laboratorio en la enseñanza, las propuestas tradicionales presentan elementos y acciones que reflejan una visión de ciencia próxima a la concepción estándar de la ciencia; ello incide en la concepción que construyen los estudiantes acerca de la misma. En tal sentido, se consideró relevante identificar las conceptualizaciones que desarrollan los estudiantes universitarios, y en especial los de la carrera de profesorado de física, en relación con la actividad experimental en la ciencia, con miras a reorientar la enseñanza.

---

<sup>1</sup> Ensayo realizado en la Universidad Pedagógica Experimental Libertador-Instituto Pedagógico de Caracas, UPEL-IPC, Venezuela

Desde la perspectiva epistemológica, se encuentra una diversidad de tendencias referidas a las ciencias, las cuales a efecto de este trabajo se han integrado en dos grandes perspectivas: la filosofía tradicional basada en el empirismo-inductivismo o concepción estándar (CE), y la denominada nueva filosofía de la ciencia o concepción no estándar (CNE) que integra diversas corrientes de actualidad (Pesa, 2002; Abd-El Khalick y Lederman, 2000a). Desde este referencial, se realizó un análisis del quehacer experimental en la ciencia (capítulo cuatro), en el que se tomaron en cuenta aspectos tales como:

- El estatus del laboratorio en la ciencia
- El significado y rol de la planificación de una experiencia en el laboratorio
- La finalidad de los experimentos en la ciencia
- La interrelación teoría-experimento en el trabajo de laboratorio
- Significado de los hechos y los datos
- El rol de la creatividad e imaginación del científico en el trabajo de laboratorio y la toma de decisiones.
- Valoración de los resultados experimentales

En cuanto a lo metodológico, en la literatura se encontraron diversos instrumentos para la evaluación de las concepciones acerca de la naturaleza de la ciencia. Entre ellos vimos el cuestionario desarrollado por Aikenhead y Ryan (VOST) (1992), que presenta preguntas de respuesta múltiple cuyas opciones fueron el producto de estudios empíricos previos. Posteriormente, el VOST fue adaptado a la población de habla hispana (COST) por Vázquez y Manassero (1997, citado en Acevedo y otros, 2001). Ambos instrumentos exploran actitudes y concepciones de los estudiantes en relación con la ciencia, la tecnología y la sociedad, desde las perspectivas epistemológica, social y tecnológica establecidas en la literatura.

También encontramos varios instrumentos que indagan sobre las concepciones de los alumnos en relación con el significado de algunos aspectos específicos de la actividad experimental como son: los datos; la organización, procesamiento, análisis e interpretación de estos; la toma de decisiones en base a los resultados experimentales;

entre otros. (Ryder y Leach, 1999; Murcia y Schibeci, 1999; Bluffer, Allie, Lubben y Campbell, 2001)

Una característica común de los instrumentos más recientes, diseñados para evaluar las concepciones de los estudiantes acerca de la naturaleza de la ciencia, es que su construcción parte de preguntas abiertas, con el fin de considerar los significados de los sujetos, en vez de iniciar con preguntas cerradas cuyas opciones deriven de un modelo teórico a priori y de los significados de los investigadores. Otro aspecto relevante en el diseño de estos instrumentos, es el uso de situaciones en contextos explícitos para enmarcar las preguntas, por ejemplo, una descripción de una situación experimental concreta en un laboratorio científico. Igualmente, se plantea como un aspecto metodológico de gran valor, el uso de la triangulación interna mediante la inclusión de varias preguntas, referidas a un mismo aspecto en diferentes contextos dentro del mismo instrumento.

Tomando en cuenta estas sugerencias metodológicas y adaptando algunas de las preguntas relacionadas con el quehacer experimental encontradas en la literatura, se construyó un instrumento para indagar acerca de las conceptualizaciones que han desarrollado los estudiantes en relación con el trabajo de laboratorio en la física que hemos denominado: *Concepciones acerca de la Actividad Experimental en Física, CAEF*. Su primera versión se elaboró planteando tres situaciones, en dos contextos (el científico y el educativo) y tres contenidos de física; para cada situación se formularon preguntas abiertas, con la intención de hacer una triangulación interna de los significados de los alumnos (capítulo nueve; figura 9-1).

La caracterización del trabajo experimental desde las dos grandes tendencias epistemológicas que se establecieron -la concepción estándar y la concepción no estándar (capítulo cuatro)- fue empleada para analizar las respuestas dadas por los estudiantes universitarios que completaron el cuestionario CAEF. Los resultados permitieron concluir que este referencial resultó útil para evaluar la visión que tienen los sujetos estudiados acerca de los aspectos considerados en relación con el quehacer experimental en la física.

Por otra parte, el uso de preguntas dentro de diferentes contextos (experimento científico y trabajo de laboratorio educativo) para la obtención de información acerca de un mismo aspecto (preguntas de referencia, apartado 9.2), resultó una metodología adecuada para garantizar mayor confianza en los resultados y en las declaraciones que

se derivan de ellos. Además, permitió conocer la extensión de las concepciones de los estudiantes, ya que, como ratifican los resultados obtenidos, su visión está en fuertemente determinada por el contexto de la situación planteada.

Así mismo, tal como lo han planteado diversos autores (Ryder y Leach, 1999; Murcia y Schibeci, 1999; Bluffer, Allie, Lubben y Campbell, 2001), el uso de descripciones concretas sobre situaciones experimentales (seminario de investigadores, trabajo de laboratorio en un curso o debate acerca de resultados de un experimento específico) permitió reducir la ambigüedad en las respuestas de los estudiantes, ya que se les demandaban acciones específicas a partir de las cuales se pudieron inferir rasgos significativos de sus concepciones.

Los resultados más relevantes acerca de la visión del grupo de estudiantes universitarios estudiados en Venezuela, acerca de la actividad experimental, pone en evidencia que entre ellos predominaron concepciones más cercanas a la concepción estándar. Entre las concepciones específicas que más destacaron citamos las siguientes:

- El trabajo experimental resulta ser una actividad científica aislada y autoconsistente, dirigida a verificar y comprobar la teoría o a descubrir nuevas leyes.
- En el desarrollo del trabajo experimental, por ejemplo en el diseño del experimento, la recolección, procesamiento, análisis e interpretación de los datos, y otros, predominó el énfasis en los procedimientos y la obtención de datos, sin interrelación con modelos de referencia.
- Aunque consideran necesario realizar varias medidas para disminuir el error y mejorar la precisión, las conciben a las medidas como válidas en sí mismas; y no son vistas como rangos de valores en los cuales estaría el valor *verdadero* de la medida. Tampoco tienen criterios cualitativos y cuantitativos para discriminar el número de mediciones convenientes para minimizar los errores de medición.
- El diseño experimental implica, para los estudiantes del estudio, básicamente, establecer qué y cómo medir. Estas decisiones aunque consideran que se derivan del referente teórico, éste no fue considerado en la toma de decisiones para el diseño y montaje del experimento, ni de los procedimientos de medición. Una posible hipótesis es que las variables (distancia, altura, temperatura, resistencia eléctrica) que se planteaban en los experimentos de las situaciones del cuestionario, no ofrecían mayores dificultades en cuanto a cómo medirlas y en consecuencia, acerca de la

fiabilidad del procedimiento seguido. Sin embargo, dado que en la enseñanza tradicional que se realiza en el laboratorio, los estudiantes no tienen oportunidad de decidir cuáles son las variables a medir, y los procedimientos y métodos de medida, son establecidos por el profesor, pudiera pensarse que concepciones como las encontradas, hayan sido el resultado de este tipo de praxis educativa.

- La interpretación de los datos resultó ser una actividad con poco significado para estos estudiantes; para la mayoría, interpretar implica la siguiente secuencia de acciones: hacer el gráfico, dibujar la línea que mejor se ajuste a los datos, y calcular la pendiente de la recta si fuera el caso. También predominó el énfasis en la búsqueda del valor único y la interpretación válida, para lo cual los estudiantes piensan que es menester lograr calidad y cantidad de datos, o calidad en las representaciones gráficas elaboradas con éstos.
- Ante resultados experimentales que presentan discrepancias, la mayoría de los estudiantes propuso acciones dirigidas a alcanzar la igualdad y la respuesta común. Estas acciones se centran en los datos, es decir, en obtener más medidas, mejorar los procedimientos de medición, entre otras; y no incluyen como formas de interpretación el análisis de potenciales modelos y menos aún, la posibilidad de aceptar más de una interpretación para un mismo conjunto de datos.
- Por último, el intercambio en el seno de la comunidad tanto de la ciencia como del ámbito educativo, es considerado por este grupo de estudiantes como importante, sin embargo, la finalidad principal es la divulgación y la búsqueda de vías para llegar al resultado correcto. Muy pocos estudiantes le dieron cabida a posiciones relativistas, donde la pluralidad sea aceptada.

Los resultados encontrados en este trabajo se corresponden con los que han sido reportados por otros autores (Murcia y Schibeci, 1999; Ryder y Leach, 1999, 2000; Bluffer, Allie, Lubben y Campbell, 2001) quienes realizaron estudios con poblaciones de otras sociedades y niveles educativos. Dado que los TLs que típicamente se realizan en la enseñanza de la física enfatizan lo instrumental, los resultados obtenidos no sorprenden. Las concepciones tipo estándar asociadas con la actividad experimental que manifiestan los estudiantes, constituyen un problema general que debe ser abordado en la enseñanza de la física.

Derivado de este estudio, se obtuvieron los siguientes productos:

- i. Un instrumento (CAEF, preguntas abiertas) para el estudio de las concepciones acerca de la actividad experimental en la física, de estudiantes universitarios de habla hispana
- ii. Un sistema de categorías de respuesta valoradas según las dos concepciones establecidas: estándar y no estándar (Anexo 9-C).
- iii. Una metodología para la evaluación, análisis e interpretación de las respuestas que se obtienen de la aplicación del instrumento CAEF de preguntas abiertas.
- iv. Una versión del instrumento CAEF con preguntas cerradas derivadas del sistema de categorías de respuestas obtenido del estudio empírico. Al respecto, hay que destacar que, aún cuando el sistema de categorías representa una síntesis de las ideas y lenguaje de los propios estudiantes, siempre es recomendable complementar la aplicación de esta versión del instrumento CAEF de preguntas cerradas, con entrevistas a fin de garantizar confiabilidad y profundizar en los significados de los estudiantes.

Por otra parte, este estudio permite hacer algunas recomendaciones para futuras investigaciones, como son:

- Indagar sobre la visión epistemológica acerca de la actividad experimental en poblaciones de mayor número de estudiantes, y relacionarla con otras variables relevantes como: carrera, sexo, nivel académico del estudiante, tipo de Curso de laboratorio realizado por los estudiantes, otros. Ello permitiría obtener información acerca de las variaciones en la visión de los estudiantes según características específicas, o poder establecer los movimientos en las ideas de los estudiantes sobre este tema y su relación con otros factores.
- Realizar estudios sobre la visión que tienen los estudiantes acerca de la actividad experimental en otras disciplinas científicas, como biología o química, ya que este instrumento se enmarcó, específicamente, en el área de la física, y sus resultados no permiten decir nada acerca de la concepción de los estudiantes en otros campos disciplinares.

### 11.2.2 Niveles de desarrollo conceptual que tienen los estudiantes en relación con la Actividad Experimental en el contexto del aula de Física

Considerando el Trabajo de Laboratorio (TL) como situaciones problema cuya resolución implica tareas y subtareas complejas conceptualmente, se elaboró un modelo, MATLaF, para la comprensión de la dinámica de aprendizaje durante el trabajo de laboratorio de física con base en la teoría de Campos Conceptuales (TCC) propuesta por Vergnaud (1990) (capítulo cinco). Desde este modelo, los procesos de la ciencia que se ponen de manifiesto en el quehacer experimental<sup>2</sup>, son vistos como subproblemas del TL que demandan conceptos tanto del dominio teórico (campo conceptual específico de la situación) como del dominio metodológico (campo conceptual propio del laboratorio). Los *conceptos*, desde esta teoría (TCC) están constituidos por una triada: los invariantes operatorios (IO), es decir, propiedades específicas y procedimientos indisolubles que le dan el *significado*; las situaciones (S), que constituyen el *referente* del concepto, y que activan los IO para analizar y guiar la actuación del sujeto frente las mismas; y, las representaciones que constituyen el *significante* del concepto, y permiten hacer explícitos los significados pudiendo ser de distinto tipo (Moreira, 2004)

Los resultados encontrados en el estudio piloto<sup>3</sup> (capítulo siete) ponen en evidencia que para estos estudiantes de profesorado de física, las diferentes tareas realizadas en el TL son concebidas como reglas o procedimientos estándar, para cuya ejecución es suficiente aprender un conjunto de instrucciones. Estos estudiantes no ven estas tareas como problemas que demandan la aplicación de conceptos a partir de los que se establecen las acciones a realizar.

Los invariantes operatorios identificados en los estudiantes en cuanto al dominio metodológico resultaron poco desarrollados desde la perspectiva del conocimiento científico. Los IO subyacentes al quehacer experimental frente a la situación propuesta, referida a contenidos específicos sobre oscilaciones armónicas, que pudieron ser identificados son:

---

<sup>2</sup> Establecer predicciones y relaciones entre variables; diseñar experimentos; observar; medir; organizar y procesar datos; interpretar; analizar; modelar; concluir.

<sup>3</sup> Un TL orientado mediante el MATLaF en el dominio de oscilaciones armónicas

- *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 en relación a su uso para medir las variables identificadas como necesarias y así evaluar de manera directa o indirecta las variables de interés.*

- *Estudiar una relación experimentalmente significa describir cómo cambia una variable al variar otra; ello 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. Sin embargo, 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.*

- *El procesamiento y la interpretación de datos, así como la generación de conclusiones son concebidos como procedimientos rutinarios y equivalentes. La ejecución de estas tareas no resultó problemática para los estudiantes, se observó un patrón de acciones entre ellos que se implementó en diferentes oportunidades; el mismo consistía en:*

- i) Organizar los datos en cuadros identificando las variables (símbolo y unidad) sin indicar errores;
- ii) Graficar  $y=f(x)$ ;
- iii) Hacer una lectura descriptiva del gráfico. Además, no establecieron relaciones entre los resultados obtenidos y los posibles modelos de referencia, por lo que en ningún caso, se hicieron transformaciones, interpretaciones y análisis de los datos.

Adicionalmente, en relación con el dominio teórico específico del TL en el estudio piloto (oscilaciones armónicas), la activación de las conceptualizaciones que se identificaron ocurrió al inicio del trabajo, es decir, durante el análisis conceptual teórica de la situación. Para estos estudiantes, la finalidad de este análisis teórico del problema era encontrar un modelo físico de referencia para establecer qué medir en el laboratorio. Durante el resto del TL, las conceptualizaciones teóricas explicitadas al inicio no fueron tomadas en cuenta, ni siquiera al abordar tareas como: interpretar y analizar datos o

producir conclusiones. En síntesis, para estos estudiantes, el dominio teórico en un TL está relacionado con el dominio metodológico únicamente como referente válido para orientar algunas acciones de medición como qué medir, es decir, selección de variables relevantes.

Este estudio permite concluir que si analizamos el proceso realizado por los estudiantes durante un TL donde resuelven problemas, mediante el modelo MATLaF, es posible identificar: i) Invariantes Operatorios (IO) que activan en relación con el campo conceptual, referido a las diferentes tareas propias de la actividad experimental, y ii) IO relacionados con el campo conceptual teórico específico de la situación. Con ello se puede dar respuesta a cuestiones como, ¿cuál es el nivel de desarrollo conceptual alcanzado por los estudiantes? ¿qué significados y significantes han desarrollado en relación con la situación? Aspectos que son relevantes para orientar el aprendizaje en el laboratorio y la planificación de la enseñanza. En tal sentido, los resultados de este estudio piloto fueron tomados en cuenta a efecto del ensayo realizado en esta investigación.

### **11.2.3 Efectividad del Trabajo de Laboratorio según el modelo MATLaF y las orientaciones epistemológicas establecidas, sobre el desarrollo conceptual (teórico, metodológico y epistemológico) del estudiante en el campo de la Física**

Los Trabajos de Laboratorio que tradicionalmente se efectúan en las aulas de clase, están centrados en el aprendizaje de contenidos procedimentales; entendidos éstos como destrezas o habilidades sin considerar las conceptualizaciones que justifican u orientan dichas acciones. En contraste con este tipo de TL, en este estudio se ha considerado el proceso del TL como un espacio de resolución de problemas, en el que el sujeto en acción (cognitiva) aprende. Proceso que ha sido descrito en términos de actividades experimentales propias del quehacer científico, vistas como tareas complejas que demandan una interrelación entre el dominio teórico y el dominio metodológico.

El desarrollo de un TL en el quehacer científico no es lineal; por el contrario, implica un ir y venir, un avanzar y retroceder, para revisar o complementar nuevas acciones con las anteriores. En consecuencia, se consideró pertinente en este estudio representar el conjunto de tareas características del trabajo experimental mediante la V

de Gowin (Novak y Gowin 1984) (ver figuras 5-5 / 8-1), con el fin de ilustrar la dinámica permanente entre los dominios teórico y metodológico, considerado fundamental desde la concepción no estándar de la ciencia. Al respecto, las concepciones de los estudiantes encuestados mostraron que éstos tienen poco conocimiento sobre ello.

Esta representación del quehacer en el laboratorio es importante que se haga explícita durante la ejecución de los TL. Los resultados encontrados con los estudiantes que participaron en los dos TLs realizados (estudio piloto y ensayo propiamente dicho), en cuanto a la valoración que hacen de esta representación, fueron favorables, como se muestra a continuación:

- Como resultado del estudio piloto (capítulo siete), tres estudiantes consideraron que la representación del proceso en una V de Gowin, resultó útil para darle coherencia al trabajo como un todo:

(E5Y) “Ofrece orientación para manejar la información desde sus inicios; permite observar mejor la interacción entre la teoría y los métodos para analizar un evento a través de preguntas claves que limitan y encaminan de forma organizada, con secuencia y sentido, la experimentación y el informe final”

(E6L) “Es lo suficientemente flexible como para trabajar con él, la secuencialidad de los contenidos y su interrelación permite, o bien derivar el paso siguiente o integrar el paso anterior en el contexto de lo expresado”

(E2H) “Llevamos de manera organizada el proceso”

Mientras que a dos estudiantes les permitió organizar la información para comunicarla:

(E1C) “Es mas fácil de dar a conocer los resultados de una investigación manteniendo su debido orden”

(E4J) “Una herramienta muy buena para comunicar los trabajos experimentales”

- Los resultados en el segundo TL (ensayo) muestran que hubo mayor toma de conciencia sobre la dinámica del proceso del TL respecto al rol de la heurística representativa del mismo (Fig. 8-1), según lo evidencian algunas expresiones de los estudiantes, como:
  - Permitted darle coherencia al trabajo completo:

(E5Y) “Es útil pues permite darle armonía a todo, lo teórico con lo experimental y todo lo relacionado con el problema.”.

o Resultó útil para interrelacionar las diferentes tareas:

(E2H) “Siempre la tenía allí para lo que tenía que hacer; pero al final era quién la organizaba.

(E5Y) “Yo soy muy visual y lograba armar las piezas que iba produciendo.”

o Favoreció la reflexión metacognitiva:

(E6L) “... me permitía ordenar mis ideas ..... esa secuencia de la V es útil para revisar el trabajo”.

(E4J) “Uno va viendo el proceso, creo que no se escapa nada de allí... me ayudó a precisar lo que tenía que comunicar”.

(E5Y) “La V la tenía en la cabeza, y siempre pensaba en cómo cada acción tiene que ver una con otra, y así yo no me perdía.”

o Aportó criterios de síntesis para una mejor comunicación de los resultados:

(E2H) “La usé en el momento del informe”.

(E5Y) “Ahora, todo estaba relacionado y se integraba en función de las preguntas. Siempre que iba a escribir algo en lo metodológico veía si tenía correspondencia con lo teórico y viceversa, y si todo esto estaba enmarcado en las preguntas; me ayudó a hacer las conclusiones, pues era la integración de lo teórico con lo experimental según las preguntas”.

(E4J) “Me ayudó en la estructura del informe, me ayudó a precisar lo que tenía que comunicar”.

Pareciera entonces que desde la perspectiva epistemológica, si bien resulta importante y necesario, presentar y desarrollar los TL en la enseñanza como procesos propios del quehacer de la ciencia, la comprensión de la compleja y no estandarizada interrelación entre lo teórico y lo metodológico podría mejorarse mediante su representación en la V de Gowin; ya que ello no sólo facilita ésta interrelación, sino que le da coherencia a la selección de las metodologías, ayuda a discriminar datos de resultados, facilita la diferenciación entre las tareas propias del quehacer de la actividad experimental, así como su integración permitiendo la síntesis y evaluación del proceso, en definitiva puede contribuir en el aprendizaje de los estudiantes en el laboratorio por su rol metacognitivo.

Otro aspecto central en este estudio, correspondió a los procesos cognitivos subyacentes al aprendizaje durante la resolución de las diferentes tareas y subtareas a las cuales se enfrenta el estudiante cuando el TL se hace a partir de una situación problema. Como declaramos en la sección anterior, podemos concluir del estudio piloto, que el

modelo MATLaF resultó aceptable para interpretar dichos procesos, y además, permitió identificar el nivel de desarrollo conceptual de los estudiantes en relación con la situación propuesta. Esta potencialidad del modelo tiene implicaciones importantes para la planificación de la enseñanza en el laboratorio, ya que, por un lado, el nivel de desarrollo conceptual y las dificultades inmersas en el mismo identificadas en los estudiantes en relación con los dos dominios teórico y metodológico relevantes para el quehacer experimental y asociados con la situación que se les planteó, resultaron insumos relevantes para el establecimiento de las metas de aprendizaje para los subsiguientes TL, lo cual facilita la evaluación de la efectividad del mismo, aspecto que ha sido reportado como una debilidad de algunas investigaciones en el área (Barberá y Valdés, 1996)

Por otra parte, la viabilidad del modelo para comprender el proceso de aprendizaje de los estudiantes durante la ejecución del TL, hizo suponer que sería útil para la organización y orientación de la enseñanza durante la actividad experimental.

En tal sentido, en el ensayo propiamente dicho (capítulo ocho) encontramos que el modelo MATLaF efectivamente permitió implementar actividades didácticas dirigidas a mediar el desarrollo conceptual de los estudiantes en relación con los campos conceptuales teórico y metodológico específicos de la situación que se planteó, sobre la base de los IO identificados. Con la intervención didáctica realizada en el ensayo se logró que, de los cinco estudiantes participantes, cuatro resolvieran la situación propuesta completa, es decir, llegaran a la elaboración de un reporte final consistente; y evidenciaran aprendizajes en los dominios considerados (teórico, epistemológico y metodológico).

Si bien, el TL se ha concebido como una tarea, fundamentalmente dirigida al aprendizaje de nuevas conceptualizaciones en el dominio metodológico, desde el marco de referencia que estamos considerando, esto sólo es posible si el TL parte de una situación problema en cuya resolución es necesario que se activen conceptualizaciones del dominio teórico específico a la misma, las que se integrarán con las conceptualizaciones del dominio metodológico que esperamos aprendan los estudiantes. En consecuencia, durante la resolución del TL también se favorecerá el desarrollo conceptual de los estudiantes en cuanto al dominio teórico particular del problema.

De este trabajo se concluye que, considerando el nivel de desarrollo conceptual identificado en los estudiantes en relación con el dominio metodológico, el haber

realizado el TL según el modelo MATLaF, es decir, considerando a las tareas propias de la actividad experimental como subproblemas a resolver, permitió promover aprendizaje en la mayoría de los estudiantes de este ensayo. Este aprendizaje se evidenció por la evolución conceptual en los dominios: teórico, metodológico y epistemológico.

En cuanto al dominio metodológico, el aprendizaje se infiere de la comparación entre los esquemas de los estudiantes identificados al inicio del ensayo y los identificados al finalizar. Los rasgos característicos de estos dos grupos de esquemas para cada tarea experimental, se resumen en el cuadro 11-1. Los esquemas finales se observaron en cuatro de los cinco estudiantes del ensayo.

**Cuadro 11-1.** Comparación de los esquemas predominantes (antes y después del ensayo) relativos con el dominio metodológico entre los estudiantes (N:5)

<b>Tarea experimental</b>	<b>Esquemas iniciales Estudio piloto</b>	<b>Esquemas Finales Ensayo</b>
<b>Análisis conceptual</b>	El problema del TL se enmarca en un dominio teórico con el fin de tener un valor de referencia o una ecuación que orienta acerca de qué medir.	El problema del TL se enmarca en un dominio teórico que guía el diseño y el proceso de transformación y análisis de los datos.
<b>Formulación de preguntas claves</b>	Si el problema de un TL se enmarca en un dominio teórico se podrán derivar preguntas, pero estas no se relacionan con las próximas tareas del TL	Si el problema de un TL se enmarca en un dominio teórico se podrán derivar preguntas, hipótesis y predicciones.
<b>Diseño Experimental</b>	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. Estudiar una relación experimentalmente significa describir como cambia una variable al variar otra	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, predicciones o hipótesis planteadas.
<b>Recolección de datos</b>	Una sola medida no es suficiente, es necesario efectuar varias medidas. No hay criterios para establecer cuántas medidas pueden ser suficientes, esto es una regla sin significado. Las medidas directas tienen un error experimental que depende de la apreciación del instrumento de medida.	Si se efectúan varias mediciones, se tendrá mayor confianza en ellas. Toda medida directa tiene una incerteza que depende del procedimiento y del instrumento empleado. Las medidas indirectas tienen un error que depende de las incertezas de las medidas directas que la integran. El análisis de los errores fundamenta el grado de ajuste entre el modelo teórico y los datos experimentales.

<b>Tarea experimental</b>	<b>Esquemas iniciales Estudio piloto</b>	<b>Esquemas Finales Ensayo</b>
<b>Procesamiento y transformaciones de datos</b>	Estas tareas son procedimientos estándar y rutinarios, como: organizar los datos en tablas, hacer gráficos, determinar pendientes.	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 de los resultados esperados según el o los modelos asumidos o en construcción.
<b>Análisis e interpretación de los datos</b>	Implica hacer una lectura descriptiva del gráfico	El análisis de los datos, después de ratificar la fiabilidad de éstos, se hace considerando el conjunto de datos y los resultados esperados, con miras a ratificar explicaciones o a buscar nuevas explicaciones ante resultados no esperados o en discrepancia.
<b>Conclusiones</b>	Las conclusiones son equivalentes a la descripción de los datos obtenidos.	Las conclusiones se construyen al triangular las preguntas, los resultados esperados y los resultados obtenidos.
<b>Comunicación</b>	Comunicación de todas las actividades, sin integración entre las partes.	Comunicación de todo el trabajo integrado y en función de las preguntas claves.

Se observa un avance en cuanto a la cantidad de conceptos involucrados y a los teoremas que establecieron con ellos. También resultó relevante la integración que lograron la mayoría de los estudiantes entre los dominios teórico y metodológico. Por otra parte, resulta relevante destacar que la estudiante que mostró poca autonomía y desarrollo conceptual en sus producciones finales, consideró que sí aprendió y señaló algunas de las dificultades que continuaba teniendo, con lo cual evidenció estar consciente de los aprendizajes no logrados, como se muestra en el siguiente episodio de su entrevista final:

E2H. “Yo siento que aprendí mucho en este curso, hay muchas cosas que yo nunca había hecho. Las medidas que hicimos con el detector, con las películas y el Excel.

Trabajar en grupo me costó.....

El uso del programa de Excel, aprendí a usarlo. Para acomodar los datos y obtener los resultados. Aprendí transformaciones, por Ej. en el TL1 obtener los picos máximos, y todo el proceso. En el TL2 no sabía las transformaciones que tenía que hacer. Eso no me quedó claro.”

En cuanto al dominio teórico, al finalizar el TL los estudiantes actuaron con IO más cercanos a las ideas científicas; y ante nuevas situaciones evidenciaron el uso de esquemas conformados con más conceptos y teoremas coherentes con los conocimientos científicos.

Además, cuatro estudiantes lograron explicitar sus significados en las producciones finales, tres de los cuales lo hicieron con múltiples formas de representación: verbales, gráficas y simbólicas. Uno de ellos mostró un manejo interrelacionado de múltiples variables. Mientras que un sólo estudiante evidenció poca autonomía en el trabajo y dificultades para explicitar sus significados; los textos encontrados en sus producciones no diferían de los que aparecen escritos en los libros de texto.

La secuencia del trabajo realizado, primero con una situación de laboratorio de diagnóstico (estudio piloto) en la que se siguió el plan de acción establecido en términos de los procesos típicos de la actividad experimental, y segundo, con una situación de laboratorio (ensayo) en la que se efectuó una intervención mediadora orientada según el MATLaF y en la que se consideraron los IO de los estudiantes, permite concluir que cuatro (4) de cinco (5) estudiantes mostraron una evolución favorable, tanto en el dominio metodológico como en el dominio teórico. Estos resultados son una evidencia de que el desarrollo conceptual es progresivo y a largo plazo, y que en la medida en que los estudiantes se enfrenten ante una diversidad de situaciones, podría lograrse incidir favorablemente sobre este desarrollo. Además, esta evolución ocurre de manera diferente en cada estudiante.

De este estudio se puede establecer que:

Sí .....

1. Concebimos los TL como una actividad compleja de resolución de problemas que implica tareas y subtareas en las que intervienen conceptualizaciones teórico-metodológicas.
2. Identificamos los invariantes operatorios de los estudiantes en relación con el campo conceptual referido al dominio metodológico.

3. Se organiza una jerarquización de clases de situaciones de TL en atención al desarrollo conceptual en el dominio metodológico, considerando los IO iniciales de los estudiantes.
4. Se incorpora en las clases de situaciones de TL diferentes contextos del dominio teórico de la física.
4. Se planifica y evalúa la mediación didáctica para los TL según el modelo MATLaF.
5. Se orienta el desarrollo de los TL con un plan de acción que evidencie la indisoluble relación entre los dominios teórico y metodológico.
6. Se facilita con el diagrama de la fig. 8-1, la representación de una dinámica interrelación entre los dominios teórico y metodológico.

Entonces, sería posible a largo plazo lograr cambios significativos en el desarrollo conceptual de los estudiantes en relación con los dominios teórico y metodológico, lo cual contribuirá al desarrollo de una visión acerca de la actividad experimental cada vez más próxima a la descripción expuesta según la concepción no estándar de la ciencia (capítulo 4)

### **11.3 UNA APROXIMACIÓN AL CAMPO CONCEPTUAL REFERIDO AL DOMINIO METODOLÓGICO DEL TRABAJO DE LABORATORIO EN LAS AULAS DE FÍSICA DEL NIVEL UNIVERSITARIO.**

En este estudio se plantea que el Trabajo de Laboratorio en la enseñanza de la ciencia está dirigido, al aprendizaje con énfasis en el dominio metodológico, considerado éste como un Campo Conceptual, es decir, como un conjunto de situaciones cuya resolución demandan conceptos específicos del campo (Moreira, 2004). Esto significa que hay necesidad de identificar las clases de situaciones que resultan características en el laboratorio dentro del contexto educativo, así como los conceptos que dichas clases requieren para su solución.

Ahora bien, si planteamos el trabajo de laboratorio como una situación a resolver, cuya complejidad requiere de la resolución de subproblemas como: *planificar y diseñar experimentos; realizar mediciones; recolectar, organizar, transformar, representar, analizar e interpretar los datos a la luz de marcos teóricos explícitos;* entre otros; todos

ellos fundamentales en el quehacer del laboratorio científico y referidos al dominio metodológico; es posible discriminar los conceptos y teoremas de los diferentes subproblemas.

Por otra parte, ratificamos que el quehacer experimental implica una permanente e indisoluble interrelación entre teoría y experimento, por lo que las situaciones que se plantean en el laboratorio tienen que estar enmarcadas en alguna temática del área de conocimiento teórico.

Derivado de estos dos aspectos mencionados, los conceptos propios del Campo Conceptual referido al dominio metodológico del laboratorio, mostrarán en la acción, diferentes aspectos de su significado y diferentes formas de representación según sea el dominio teórico (mecánica, electricidad, otros) al cual se refiere la situación y la clase de situación de laboratorio a la que pertenece.

Con base a lo expuesto y a los resultados de este estudio, presentamos una descripción tentativa del Campo Conceptual referido al dominio metodológico del laboratorio de física. Para ello se revisaron algunos textos sobre el dominio metodológico del laboratorio de física a nivel universitario (Taylor, 1997; Rabinovich, 1999; Gil y Rodríguez, 2001) y algunas clasificaciones referentes a los conocimientos o contenidos que podrían ser aprendidos con los trabajos de laboratorio (Gott y Duggan, 1996; De Pro Bueno, 1998).

En primer lugar, con base en las tareas características de la actividad de laboratorio consideradas en este estudio, se identificaron contenidos (conceptos) propios de cada una de ellas sin pretender que esta selección incluye la totalidad de conceptos, pues siempre es posible la identificación y construcción de nuevos conceptos necesarios para nuevas clases de situaciones (Cuadro 11-2)

Por otra parte, de la revisión de los distintos trabajos de laboratorio que generalmente se encuentran en los cursos de física, hemos identificado algunas clases de situaciones que parecen ser fundamentales en el quehacer del laboratorio en física en el contexto educativo a nivel universitario. Estas son:

- Determinación de constantes físicas.
- Contraste de modelos teóricos con fenómenos en el laboratorio.
- Exploración del efecto entre variables.

- Determinación de propiedades físicas.
- Diseño de métodos de medición de magnitudes físicas.

**Cuadro 11-2.** Contenidos por cada tarea propia del quehacer experimental.

<b>Tarea experimental</b>	<b>Contenidos</b>
<b>Análisis conceptual</b>	Fuentes de información. Conceptos del dominio conceptual teórico (DCT) de la situación. Relaciones entre conceptos del DCT. Argumentación. Deducción
<b>Formulación de preguntas claves</b>	Pregunta foco. Predicción. Hipótesis
<b>Diseño Experimental</b>	Experimento. Variables, clasificación según rol. Control. Aproximaciones desde el modelo. Modelo real
<b>Recolección de datos</b>	Estimación de medidas. Rango de medición Clasificación de mediciones. Incertezas. Errores Clasificación de errores. Fuentes de error. Cifras significativas. Dato. Dato anómalo. Apreciación, Precisión. Exactitud. Sensibilidad. Valor aceptado ( <i>verdadero</i> ) Repetibilidad. Reproducibilidad. Técnicas de medición.
<b>Procesamiento y transformaciones de datos</b>	Clasificación, seriación, organización. Tablas, gráficos. Medidas de tendencia central (media, mediana) Medidas de variación (desviación de la medida, desviación de la media...) Distribuciones. Propagación de errores.
<b>Análisis e interpretación</b>	Patrones. Ecuación empírica. Discrepancias. Tendencia de los datos. Contraste modelo-data. Modelización. Rechazo de resultados. Confiabilidad. Significatividad.
<b>Conclusiones</b>	Inferencias. Generalizaciones. Conclusiones. Argumentación
<b>Comunicación</b>	Reporte científico oral y escrito. Tipos de reporte. Estilos de lenguaje

Con el fin de ilustrar este Campo Conceptual, presentamos algunos problemas específicos según las clases de situaciones descritas en diferentes dominios teóricos de la física que son típicos en las currícula universitarios en esta especialidad (Cuadro 11-3).

Ésta primera aproximación al Campo Conceptual referido al dominio metodológico de la actividad experimental en física, requiere de ampliación y precisión sobre la base de investigaciones que evalúen el desarrollo conceptual de los estudiantes, ante las distintas clases de situaciones citadas, en los diferentes dominios teóricos. Lo que a su vez puede variar según el nivel educativo: secundaria o universidad, o el tipo de Carrera en el segundo caso.

**Cuadro 11-3** Una muestra de posibles problemas a presentar como Trabajos de laboratorio según la clase de situación y el dominio teórico.

Clase de situación	Dominios teóricos					
	Mecánica	Electricidad y Magnetismo	Ondas	Óptica	Termodinámica	Física Moderna
<b>Determinación de constantes físicas.</b>	Determinar - la aceleración de gravedad en el laboratorio, otros	Determinar -la carga específica del electrón, el Campo magnético terrestre, otros	Determinar - la velocidad de: la luz, la velocidad del sonido en un medio, otros	Determinar - índices de refracción, otros	Determinar -el número de Avogadro, la constante de Boltzman, otros	Determinar -la constante de Planck, la constante de Stefan-Boltzman, otros
<b>Contraste de modelos teóricos con fenómenos en el laboratorio.</b>	Análisis de la segunda ley de Newton. Conservación de la Energía, Cantidad de movimiento lineal y angular.	Estudio de campos eléctricos en diversas configuraciones de cargas, otros Análisis de la ley de Coulomb. Análisis de la ley de inducción de Faraday.	Estudio de fenómenos ondulatorios (reflexión, transmisión, superposición, resonancia, batidos), otros	Estudio de fenómenos de la luz como reflexión, refracción, dispersión, difracción, interferencia. Estudio de la ley de Malus, otros	Estudio de -el enfriamiento o calentamiento de los cuerpos, procesos termodinámicos, otros	Estudio de -el efecto fotoeléctrico, la interacción fotón carga, interacción radiación electromagnética y materia, otros Difracción de Bragg Difracción de electrones.
<b>Exploración del efecto de una variable sobre otras.</b>	Efecto de un medio viscoso sobre la oscilación de una masa. Efecto de la distribución de masa en un péndulo sobre su período. Efecto de la presión en un balón y el coeficiente de restitución.	Efecto de la temperatura sobre la resistencia eléctrica. Dependencia de la resistencia con la longitud, sección transversal y tipo de material	Efecto de las dimensiones del espacio en que se confina la onda y las ondas estacionarias. Efecto de la profundidad de un líquido sobre la velocidad de propagación de la onda en su superficie	Efecto del ancho de la ranura u obstáculo sobre el ancho entre máximos de difracción. Efecto de los materiales sobre la polarización de la luz.	Efecto del contenedor en el enfriamiento o calentamiento de un líquido. Características de un calorímetro.	

Clase de situación	Dominios teóricos					
	Mecánica	Electricidad y Magnetismo	Ondas	Óptica	Termodinámica	Física Moderna
<b>Determinación de propiedades físicas.</b>	Por ejemplo: masa, peso, densidad, tensión superficial, fuerza, constante de elasticidad, modulo de Young, viscosidad, otros	Por ejemplo: resistencia, capacitancia, constantes dieléctricas, conductividad, susceptibilidad magnética, otros	Propagación de ondas acústicas en materiales.	Por ejemplo: distancia focal de lentes y espejos curvos, ángulo crítico, birrefringencia, entre otros.	Determinar - coeficientes de dilatación, calor específico, calor latente, otros	Propiedades de superconductores, semiconductores. Estructura cristalina.
<b>Diseño de métodos de medición de magnitudes físicas. Instrumentación</b>	Medición de posición, velocidad, aceleración lineal, frecuencia angular, período, cantidad de movimiento, coeficientes de fricción, viscosidad, coeficiente de restitución.	Efecto may. Tubo de rayos catódicos. Deflexión magnética, puente de Wheatston. Potenciómetro	Sensores para intensidad de una onda	Medida de la intensidad de luz, trayectoria, longitud de onda. Interferómetros	Termómetro, termocuplas, sensores de temperatura, calorímetros.	

## 11.4 ORIENTACIONES PARA EL EJE EXPERIMENTAL EN UN CURRÍCULO DE FÍSICA.

Considerando esta primera aproximación de Campo Conceptual referido al dominio metodológico del trabajo de laboratorio, se pueden establecer secuencias curriculares en las que se incremente progresivamente la complejidad conceptual de las situaciones de laboratorio; es decir, se vaya ampliando el significado de los conceptos propios del campo (medición, cálculo, resultados, calor, dispersión, error, error sistemático, error aleatorio, rango, incerteza, precisión, exactitud, otros) manteniendo siempre de forma explícita la interrelación entre los modelos y los fenómenos.

Por otra parte, teniendo en cuenta que el desarrollo conceptual ocurre con el sujeto-en-acción ante diversidad de situaciones, se propone que la secuencia curricular de TL se organice en Cursos por dominios teóricos de la física; y en cada uno de ellos se presenten distintas clases de situaciones. Esto permitiría que el trabajo de análisis conceptual de las situaciones de laboratorio que se van a resolver resulte más eficiente.

Algunos de los puntos críticos que consideramos necesario tomar en cuenta en esta jerarquización de la complejidad, son:

- En el trabajo de laboratorio es preciso enfatizar la indisoluble relación entre el dominio teórico -el mundo de la ideas- y el dominio metodológico. Esta interrelación demanda de los estudiantes el aprendizaje de procesos como: la argumentación, la persuasión, la formulación de preguntas en términos de variables pertinentes, la estimación, la imaginación de la evolución de un fenómeno, entre otros.
- La incorporación de los hechos de la historia de la ciencia y el desarrollo de las ideas científicas, son aspectos relevantes en la enseñanza en el laboratorio. Por ejemplo, el extracto siguiente permitiría discutir acerca de varios aspectos en la dinámica de la producción de conocimiento científico asociado con la actividad experimental:

“En 1818 la academia francesa de la ciencia ofreció un premio para una explicación de la difracción de la luz. La motivación subyacente era resolver el dilema entre la aparente contradicción entre la teoría ondulatoria de Fresnel y la teoría de partículas de Laplace, Poisson y Biot. Poisson argumentando, en contra de la teoría de ondas, planteó que si imaginamos un círculo perpendicular como obstáculo entre una pared y una fuente de luz, ¿cómo sería la sombra del centro? Poisson defendía como respuesta razonable el que en el centro habría oscuridad. No obstante, señalaba que si se asume la teoría ondulatoria, entonces las ondas deberían llegar en fase a la periferia del obstáculo y recombinarse en dirección hacia el centro de la sombra creando un punto brillante. Poisson pensaba que esto era un resultado improbable y sentía que con ello podría terminar con la dudosa teoría ondulatoria. Este imaginario experimento se llevó a cabo y el punto brillante fue de hecho encontrado en el centro de la

sombra. Con lo cual la teoría ondulatoria se convierte en un marco de referencia aceptado para la difracción.” (Sorensen, 1992; citado en Reiner y Gilbert, 2000, p 489)

Este texto muestra que en la ciencia es posible que coexistan diferentes modelos para explicar un mismo fenómeno. También se ejemplifica el uso de los experimentos pensados en la ciencia para “convencer” a la comunidad sobre la potencialidad o no que tiene una teoría para explicar un fenómeno, en este caso, Poisson pretendía debilitar la teoría ondulatoria. Otro aspecto interesante es la ilustración que se hace sobre la interrelación entre el fenómeno (difracción), las ideas (teoría ondulatoria y teoría de partículas; experimentos pensados) y los experimentos.

- El ensayo realizado en este estudio con el tema de ondas, mostró que el intercalar simulaciones guiadas, entre el análisis conceptual del problema y el diseño y ejecución del experimento, ayudó a los estudiantes en la comprensión de las relaciones y variables relevantes para el estudio. Por ello, se propone la incorporación de las simulaciones con computadoras, sobre modelos de referencia de interés para el TL como actividad previa al trabajo propiamente, así como, el uso de los experimentos pensados (EP), como el de Poisson o los que acostumbraba hacer Einstein, para el desarrollo de las Fases I<sup>1</sup> y II<sup>2</sup> propuestas en el plan de acción para la ejecución de un TL (cap. 5) (Reiner y Gilbert, 2000).
- 
- El estudio que hemos presentado en este informe, mostró que en los TL es necesario promover el desarrollo de los conceptos de confiabilidad y validez de las mediciones. Para ello se propone, incluir situaciones de TL que impliquen el uso de variables cuyo *proceso de medición* resulte ser *novedoso*, lo cual demandará la necesidad de analizar los distintos métodos diseñados para ello, los modelos teóricos que subyacen a los mismos, su pertinencia para la situación a resolver, otros.
- Es importante *estimar el tamaño de la medida* a obtener, considerando los modelos de referencia y el fenómeno específico, para tomar decisiones en cuanto a: el método de medición e instrumento a seleccionar, el rango de variabilidad de la variable factible de ser medido, otros; ante una diversidad de variables físicas

---

<sup>1</sup> Análisis conceptual de problema del TL, generación de preguntas claves.

<sup>2</sup> Diseño de los experimentos.

- Permitir que los estudiantes se enfrenten a situaciones donde la tarea de medición implique desde *medir cantidades* cuyo proceso es *bastante estable*, como la medición de la masa de una esfera con una balanza o las dimensiones de un cubo con un vernier, otras; en cuyo proceso de repetir las medidas se puede observar poca variabilidad; hasta realizar *medidas* que, por su naturaleza y procedimiento de medición, resultan muy *dinámicas* y requieran de mayor cantidad de mediciones. Esto conlleva al análisis de los errores implícitos en el proceso de medición. También se propone la medición de una variable con instrumentos que tengan diferente grado de precisión (resolución) para establecer comparaciones y discutir sobre la necesidad de tomar o no muchas medidas.

En este sentido, Lubben y Miller 1996 (en Allien y otros, 1998) han identificado una progresión<sup>3</sup> en la visión de los estudiantes sobre los datos experimentales, lo que permite seleccionar las secuencias de situaciones.

- En relación con las tareas de *procesamiento y análisis de los datos*, Buffler y otros (2001) sugieren que los primeros cursos de laboratorio necesitan incorporar experiencias de medición que incluyan la discusión de las actividades de su proceso donde se trabajen en forma explícita los conceptos sobre la naturaleza estadística de las mediciones y el apropiado tratamiento a los conjuntos de medidas, tanto de cantidades familiares como de otras nuevas.
- Lograr que los estudiantes lleguen a *apreciar la naturaleza colectiva de las series de medidas*, y que la media y su dispersión son formas de representar a ese conjunto de medidas como un todo.
- La comprensión de la *naturaleza estadística de los datos* está fuertemente ligada a la manera en que se procesarán y transformarán los datos, ello implica un rango amplio de herramientas estadísticas, cuya complejidad se sugiere sea jerarquizada y presentada en el marco de situaciones particulares y no como ejercicios de estadística aislados de la actividad experimental.

---

<sup>3</sup> -Medir una vez y es el valor correcto.

-A menos que encuentre un valor diferente, su medida es correcta

-Hacer algunos pocos ensayos de medidas es necesario para practicar, luego mida lo que usted quiere.

-Repetir medidas hasta que encuentre el valor recurrente, este es el correcto

-Necesita obtener la media de diferentes medidas, de no ser que ligeramente varían las condiciones, el valor sería el mismo

-Tomar la media para tomar cuidado de la variación debido a la imprecisión calidad de los resultados puede ser juzgada solo por una fuente autorizada

-Tomar la media de varias medidas, la dispersión de todas las medidas indica la calidad de los resultados

- Los estudiantes no asocian la *exactitud* con la reducción de los errores sistemáticos (mejoras en los procedimientos de medición, grado de aproximación entre el fenómeno real y los modelos de referencia), sino con el incremento de la cantidad de medidas (decisión que tiene que ver con la precisión con la cual se mide) Sugerimos proponer la medición de una variable, por ejemplo la masa, con instrumentos que tengan diferentes grados de precisión (resolución) para establecer comparaciones y discutir sobre la necesidad de tomar o no, más medidas.
- Por otra parte, una actividad propia del quehacer de la ciencia, y en particular, en el trabajo experimental, es la comunicación de los resultados con el fin no sólo de difundirlos, sino de someterlos a la crítica de pares. Si bien los estudiantes en este trabajo, valoraron la difusión de resultados entre pares, no parece que consideraran este hecho social como una parte natural de la dinámica de la ciencia para la aceptación o no de las interpretaciones generadas por los investigadores, y menos aún, la posibilidad de que éstos avalen la existencia de más de una interpretación. En tal sentido, la planificación de los TL en el ámbito educativo deben incluir espacios para el debate y discusión de los resultados de los grupos de estudiantes, favoreciendo la pluralidad argumentada y fundamentada frente a la búsqueda de la respuesta única.
- Por último, en este estudio hemos visto cómo el uso de la representación de la dinámica del trabajo experimental mediante la V de Gowin como herramienta metacognitiva, guió a los estudiantes durante la ejecución del trabajo, y los ayudó con la organización de la información y la elaboración del reporte final.

Finalizamos proponiendo que se continúen estudios en relación al diseño y la efectividad de secuencias de TLs establecidas con incremento progresivo de su complejidad conceptual en cuanto al dominio metodológico para el desarrollo conceptual de los estudiantes en este campo.

## REFERENCIAS

- AAPT (1997) Goals of Introductory Physics Laboratory. *The Physics Teacher* 35(9) 546-551.
- ABD-EL KHALICK, F. y LEDERMAN, N (2000a) Improving science teachers' conceptions of nature of science: a critical review of the literature. *International Journal of Science Education*, 22(7) 665-701
- ABD-EL KHALICK, F y LEDERMAN, N. (2000b) The influence of History of Science Courses on Student's Views of Nature of Science. *Journal of Research in Science Teaching*. 37(10) 1057-1095.
- ACEVEDO D., J.; ACEVEDO R., P.; MANASSERO, MA. A y VÁZQUEZ, A (2001) *Avances metodológicos en la Investigación sobre Evaluación de Actitudes y Creencias* CTS. Revista Iberoamericana de Educación, OEI, España. [www.campus-oei.org/revista](http://www.campus-oei.org/revista).
- AINKENHEAD, G. y RYAN, A. (1992) The development of a New Instrument: "View on Science - Technology- Society"(VOST) *Science Education* 76 (5) 477-491.
- ALLIEN, S., BUFFLER, A., KAUNDA, L., CAMPBELL, B. y LUBBEN, F.(1998) First-year physics students' perceptions of the quality of experimental measurements. *International Journal of Science Education*. 20(4) 447-459
- ANDRÉS, Ma. M. (2000) El Interés hacia la Física: un estudio con participantes de la olimpiada venezolana de física. *Enseñanza de las Ciencias*. 18(2) 311-316
- ANDRÉS, Ma. M. (2002) *La formación del docente de física: realidad y perspectivas* Trabajo de Ascenso a Titular. Universidad Pedagógica Experimental Libertador. Instituto Pedagógico de Caracas, Venezuela.
- ANDRÉS, Ma. M. (2003) El docente de física en servicio: concepciones y desempeño en el aula *Paradigma*. XXIV(2) Dic., 57-86 Venezuela.
- ANDRÉS, Ma. M. (2004) La formación de un docente de física profesional *Paradigma* . XXV(1) Junio, Venezuela (En prensa).
- ANDRÉS, Ma. M. y RIESTRA, J. (1999) *Caracterización socioprofesional y modelo didáctico de los docentes de ciencias, III etapa de Educación Básica y Educación Media Diversificada, Fase I*. Reporte de investigación. Caracas: CONICIT.
- ANDRÉS, Ma. M. y PESA, M. (2003) Criterios para la evaluación de las concepciones de estudiantes de profesorado de Física acerca de la actividad experimental en la Ciencia. *I Encuentro Iberoamericano sobre Investigación en Educación en Ciencias* Actas ISBN 84-95211-82-3, Universidad de Burgos, Burgos, 443-458
- ANDRÉS, Ma. M. y PESA, M. (2003b) *Teoría de Campos Conceptuales de Vergnaud y el Trabajo de Laboratorio en cursos de física*. Presentado en la XIII REF de la Asociación de Profesores de Física de la Argentina, Nov. 2003. Universidad Nacional de Río Cuarto, Córdoba, Argentina

- ANDRÉS, Ma. M. y PESA, M. (2004) Conceptos-en-acción y Teoremas-en-acción en un Trabajo de Laboratorio de Física *Revista Brasileira Pesquisa Em Educacao Ciencias*. Vol 4(1) Ene/Abril, Brasil, 59-75.
- ARRUDA, S. y LABURÚ, C. (1998) Considerações sobre a função do experimento no ensino de ciências Questões atuais no ensino de Ciências. *Educación para a Ciencia* (2) 3-60
- AUSUBEL, D. (1976) *Psicología Educativa. Un punto de vista cognoscitivo*. Edt. trillas. México (1ra. edición en español ) (1ra edición en ingles, 1968)
- BACHELARD, G. (1999) *La formación del espíritu científico* Edc. Siglo Veintiuno Editores. 1ra edc. en español 1984.
- BARBERÁ, O. y VALDÉS, P. (1994) El trabajo práctico en la enseñanza de las ciencias: una revisión. *Enseñanza de las Ciencias* 14(3) 365-379
- BRAVO, S. y PESA, M. (2002) Fenómenos ondulatorios: modelos y razonamientos de estudiantes universitarios. *Memorias del VI Simposio de Investigadores en Enseñanza de la Física*. Corrientes, Argentina
- BRAVO, S. y PESA, M. (2004) Propagación de pulsos. Una interpretación del razonamiento de los estudiantes *Memorias del VII Simposio de Investigadores en Enseñanza de la Física*. La Pampa, Argentina
- BROWN, J; COLLINS, A y DUGUID, P. (1989) Situated Cognition and the Culture of Learning *Educational Researche*, . 18(1) 32-42.
- BUFFLER, A; ALLIE, S.; LUBBEN, F y CAMPBELL, B. (2001) The development of first year physics student' ideas about measurement in terms of point and set paradigms *International Journal of Science Education* . 23(11) 1137-1156
- BUNGE, M. (1975) *La investigación científica*. Edt. Ariel. Barcelona. España (primera edición en castellano e inglés 1969)
- CAMPANARIO, J. M. (2004) *Rejecting Nobel class papers and resisting Nobel class discoveries* (Tomado de: [ww2.uah.es/jme/](http://ww2.uah.es/jme/), diciembre 2004)
- CRAWFORD, J (Jr) (1968) *Waves. Berkeley Physics Course*. 3 Cap. 4, 156-191
- CUDMANI, L., SALINAS, J. y JAÉN, M. (sf) *Epistemología de la Física. Tópicos introductorios*. Fac. Ciencias Exactas y Tecnología. Universidad Nacional de Tucumán. Argentina.
- CHALMERS, A. (1998) *¿Qué es esa cosa llamada Ciencia?* Madrid: Siglo Veintiuno Edts. (1984, segunda edic. traducida, revisada y ampliada)
- DAMIANI, L. (1997) *Epistemología y Ciencia en la Modernidad*. Universidad Central de Venezuela, Caracas: Eds. FACES-UCV. Premio Bienal APUCV al libro de texto universitario, 1997.
- DRIVER, R.; LEACH, J.; MILLAR, R y SCOTT, P. (1996) *Young People's Images Of Science*. Buckingham: Open University Press
- DUIT, R. (1995) The Constructivist Views. A Fashionable and Fruitful Paradigm for Science Education. Research and Practice. En Steffe, Leslie y Gale Jerry *Constructivism in Education*. N.J: Lawrence Erlbaum Associates Inc. 271-286

- DUSCHL, R. (2000) Making the nature of science explicit. In Millar, R., Leach, J. Y Osborne, J. *Improving science education*. Open University Press. Philadelphia. ISBN 033520645X (pb), 187-206
- ESCUADERO, C.; MOREIRA, M.A. y CABALLERO, C. (2003) Teoremas-en-acción y Conceptos-en-acción en clases de física introductoria de secundaria. *Revista electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, Vol. 2 (3) (<http://www.saum.uvigo.es/reec>)
- FERNÁNDEZ, J. y ELORTEGUI, N. (1996) ¿Qué piensan los docentes de cómo se debe enseñar Ciencias? *Enseñanza de las Ciencias*. 14(3) 331-342
- FEYERABEND, P. (1975) *Against Method: Outline of an anarchistic theory of knowledge* London: new Left books.
- FEYNMAN, R.; LEIGHTON, R. y SANDS, M. (1964) *The Feynman Lecture on Physics* Addison-Wesley Publishing Company, Volúmenes I, II.
- FIGUEROA, D.; ANDRÉS, Ma. M. y GUTIÉRREZ, G. (1999) Los experimentos paradójicos como estrategia para promover el aprendizaje de la Física *Ciencia*. (Nº especial) Universidad del Zulia. (En prensa).
- FIGUEROA, D.; GUTIÉRREZ, G. y ANDRÉS, Ma. M. (1994) Demostraciones en Física: ¿Para qué? *Enseñanza de las Ciencias* 12 (3) -
- FOUREZ, G. (1994) *La construcción de l conocimiento científico. Filosofía y ética de la ciencia*. España: Narcea S.S. de Ediciones.
- FRANCO, A (2003) El curso interactivo de Física en Internet. Versión original 1998. Bajado en abril 2003 ([www.sc.ehu.es/sbwch/fisica](http://www.sc.ehu.es/sbwch/fisica)). Autorizado por el autor para su uso.
- FRENCH, A. P. (1995) *Vibraciones y Ondas*. España: Edt REVERTÉ, S.A. Traducido del inglés por Aguilar, J. y Pacheco, J. ISBN 84-291-4098-0
- DE PRO BUENO, A. (1998) ¿Se pueden enseñar contenidos procedimentales en las clases de ciencias? *Enseñanza de las Ciencias*. 16 (1) 21-42.
- DRIVER, R.; LEACH, J.; MILLAR, R y SCOTT, P. 1996 *Young People's Images Of Science* Buckingham: Open University Press
- 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.) 271-286
- DUSCHL, R. (2000) Making the nature of science explicit. In Millar, R., Leach, J. Y Osborne, J. *Improving science education*. Open University Press. Philadelphia. ISBN 033520645X (pb)
- GELL-MANN, M. (1994) *El quark y el jaguar. Aventuras en lo simple y lo complejo* Barcelona: Tusquets Editores, S.A. ISBN 84-722-844-X
- GEYMONAT, L. (1998) *Historia de la Filosofía y de la Ciencia*. CRITICA. Grijalbo. (1ra edición 1979)
- GIL, D. y VALDES, P. (1996) La orientación de las prácticas de laboratorio como investigación: un ejemplo ilustrativo. *Enseñanza de las Ciencias* 14 (2) 155-164

- 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.
- GIL, S. y RODRÍGUEZ, E. (2001) *Física re-creativa. Experimentos de Física usando nuevas tecnologías* Buenos Aires: Prentice-Hall ISBN 987-9460-18-9
- GOTT, R. y DUGGAN, S. (1996) Practical work: its role in the understanding of evidence in science. *International Journal of Science Teaching*. 18(7) 755-760
- GRECA, I. (2000) El pluralismo libertario de Paul Feyerabend. En Moreira, M., Caballero, C. y Meneses, J., (eds) *I Escuela de Verano sobre Investigación en Enseñanza de las Ciencias*. Universidad de Burgos. España. 201-209.
- 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](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. *Enseñanza de las Ciencias* 12(3) 299-313
- ISLAS, S. M. y PESA, M. (2001) Futuros Docentes y Futuros Investigadores se expresan sobre el Modelado en Física. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 23(3) 319-328.
- IZQUIERDO, M.; SANMARTÍ, N. y ESPINET, M. (1999) Fundamentación y diseño de las prácticas escolares de ciencias experimentales. *Enseñanza de las Ciencias* 17(1) 45-60
- JOHNSON-LAIRD, P. (1983) *Mental models* (Cambridge, MA: Harvard University Press)
- KIRPUP, L., JOHNSON, S., HAZEL, E., CHEARY, R. W., GREEN, D. C., SWIFT, P., y HOLLIDAY, W. (1998) Designing a new physics laboratory programme for first-year engineering students. *Physics Education* 33(4) 258-265.
- KIRSCHNER, P. A. (1992) Epistemology, practical work and academic skills in science education *Science & Education* (1) 273-299
- KUHN, T (1971) *La estructura de las revoluciones científicas*. México: FCE
- LAKATOS, I (1989) *La metodología de los programas de investigación científica*. Madrid: Edt Alianza.
- LANG DA SILVEIRA, F. (1996) A metodologia dos programas de pesquisa: A epistemología de Imre Lakatos. . *Atas da III Escola Latinoamericana sobre pesquisa em Ensino de Física*, Porto Alegre, 105-113.
- LATOURET, B. y WOOLGAR, S. (1995) *La vida en el laboratorio. La construcción de los hechos científicos*. Editorial Alianza Universidad. Edición castellano
- LAUDAN, L (1986) *El progreso y sus problemas* Madrid: Edt. Encuentro
- LAZAROWICH, R. y TAMIR, P. (1994) Research on using laboratory in science. En Gabel, D. (ed) *Handbook of Research on Science Teaching and Learning*. N.Y: NSTA.

- LEACH, J (1999) Learning science in the laboratory The importance of epistemological understanding. En Leach, J. y Paulsen, A. (eds) *Practical Work in Science Education*. (Kluwe Academic Pubs) 134-147
- LEACH, J.; MILLAR, R.; RYDER, J.; SÉRÉ, 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>)
- MAURINES, L (1992) Los estudiantes y la propagación de las señales mecánicas: dificultades de una situación de varias variables y procedimientos de simplificación. *Enseñanza de las Ciencias*. 10(1) 49-57 .
- MILLAR, R.H., LE MARÉCHAL, L-F. y TIBERGHIE, A.(1999) "Mapping" the domain – varieties of practical work. In LEACH, J.y PAULSEN, A.(eds) *Practical work in Science Education – Recent Research Studies*. Kluwer Academic Publishers Roskilde University Press. ISBN-87-7867079-9 33-59
- 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](http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/vol7/n1/v7_n1_a1.html)) Traducción de Isabel Iglesias.
- MOREIRA, M. A. (2004) La teoría de los campos conceptuales de Vergnaud. Del texto: *La teoría de los campos conceptuales de Vergnaud, la enseñanza de las ciencias y la investigación en el área*. (Impressos Portao, Sao Leopoldo, RS, Brasil).
- MOREIRA, M.A. y OSTERMANN, F (1993) Sobre ensino do Método Científico *Caderno Caterinense*. 10(2) 108-117
- MURCIA, K. y SHIBECI, R. (1999) Primary students teachers' conceptions of the nature of science. *International Journal of Science Education* 21(11) 1123-1140
- NOVAK, JOSEPH y GOWIN, D.BOB (1984) *Learning how to learn*. Cambridge University Press.
- PAPP, D (1961) *Historia de la Física*. Madrid: Ed. Espasa Calpe. Cap IV, 5-92
- PESA, M. (2000) La epistemología de Laudan: Aportes significativos a las investigaciones educativas en ciencias. En Moreira, M., Caballero, C. y Meneses, J., (eds) *I Escuela de Verano sobre Investigación en Enseñanza de las Ciencias*. Universidad de Burgos España. 103-200
- PESA, M. (2002) La concepción estándar de las ciencias y las propuestas superadoras – Algunas implicancias para la educación en ciencias. En, Andrés, M. (ed) *Investigación en enseñanza de la física. Memorias de la IV Escuela Latinoamericana*. Universidad Pedagógica Experimental Libertador, Caracas, Venezuela
- PORLÁN, R., RIVERO A. y MARTÍN, R. (1998) Conocimiento profesional y epistemología de los profesores, II: Estudios Empíricos y Conclusiones *Revista Enseñanza de las Ciencias*. 16(2) 271-286
- PUJOL, R. Ma. (1994) Los trabajos prácticos en la Educación Infantil y en la Educación Primaria *Alambique Didáctica de las ciencias Experimentales* . (2) Oct, 6-14

- POPPER, K (1983) *Conjeturas y Refutaciones*. Argentina: Edt Paidos
- RABINOVICH, SEYMON (1999) *Measurement Errors and Uncertainties. Theory and Practice* 2da. edt. New York: Springer –Verlag. ISBN 0-387-98835-1
- RAMSEY, N. (2001) Which Came first, theory or experiment? *Physic Today*, (Letter) Septiembre 2001, 78-79
- REINER M. y GILBERT, J. (2000) Epistemological resources for thought experimentation in science learning. *International Journal of Science Education* 22(5) 489-506
- RODRÍGUEZ, Ma.L. y MOREIRA, M.M. (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.
- RYDER, J. y LEACH, J. (1999) University science students' experiences of investigative project work and their images of science. *International Journal of Science Education* 21(9) 945-956
- RYDER, J. y LEACH, J. (2000) Interpreting experimental data: the views of upper secondary school and university science students. *International Journal of Science Education*. 22(10) 1069-1084
- 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* 86(1) 624-644
- SHAPIRO, B. (1996) A case study of change in elementary student teacher thinking during an independent investigation in science: Learning about the 'Face of science that does not yet know' *Science Education* 80(5) 535-560
- STIPCICH, S.; MOREIRA, M. A. y CABALLERO, C. (2004) Una interpretación de las opiniones de ingresantes a la universidad sobre la noción de interacción *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias* 3, N°1, (<http://www.saum.uvigo.es/reec>).
- STRELKOV, S. (1978) *Mecánica* Moscú: Edit MIR. Traducción Univ. de La Habana 322-331.
- TAYLOR, J. R. 1997 *An introduction to Error Analysis. The study of uncertainties in physical measurements* 2da. Edt. EEUU: University Science Books. California ISBN 0-935702-42-3
- TOBIN, K.; TIPPINS, D. y GALLARD, A. J. (1994) Research on Instructional Strategies for Teaching Science. En Gabel, Dorothy (ed) *Handbook of Research on Science Teaching and Learning*. N.Y.:NSTA.
- VASQUEZ, V. (1986) *Características del docente de ciencia y matemática, Documento I*, Proyecto de Investigación CENAMEC-EMDP-01 (coord.) Caracas.
- VERGNAUD, G. (1982). A classification of cognitive tasks and operations of thought involved in addition and subtraction problems. In Carpenter, T., Moser, J. & Romberg, T. (1982). *Addition and subtraction. A cognitive perspective*. Hillsdale, N.J.: Lawrence Erlbaum. 39-59.

- VERGNAUD, G. (1990) La théorie des champs conceptuels. *Recherches en Didactique des Mathématiques* 10(2) 133-170 Traducido por Godino, Juan.
- VERGNAUD, G. (1994) Multiplicative conceptual field: what and why? In Guershon H., and Confrey J. (Eds.) *The development of multiplicative reasoning in the learning of mathematics*. State University of New York Press, Albany-New York.
- VERGNAUD, G. (1996) Education, the best portion of Piaget's heritage *Swiss Journal of Psychology* 55(2/3) 112-118
- VERGNAUD, G. (1997) The nature of Mathematical Concepts. En Nunes, T. y Bryant, R. (eds) *Learning and Teaching Mathematics. An International Perspective*. Hove (EastSussek) Psychology Press. Ltd.
- VERGNAUD, G. (1998) A comprehensive Theory of Representation for Mathematics Education. *Journal of Mathematical Behavior*. 17(2) 167-181.
- VYGOTSKY, LEV (1995) *Pensamiento y lenguaje*. España: Edt. Paidós. (Traducción de la edición inglesa, 1986) (Edición original en ruso, 1934)
- WEIL-BARAIS, A. y VERGNAUD, G (1990) Students conception in Physics and Mathematics: Biases and helps. En Caverni, J.P.; Fabre, J.M. y Gonzalez, M. (Eds) *Cognitive Biases*. North Holland: Elsevier Science Publishers. 69-84.
- WHITE, R. (1996) The link between the laboratory and learning *International Journal of Science Teaching*. 18(7) 761-774
- WITTMANN, M. (1998) *Making Sense of How Students to an understanding of Physics: An example from Mechanical Waves*. Doctoral dissertation. University of Maryland. EEUU.
- WITTMANN, M, STEINBERG, R. y REDISH, E. (2001) *A Diagnostic Test to investigate Student use of Multiple Models of Mechanical Waves*. Physics Education Research Group University of Maryland (NSF Grant DUE-9455561) [www.physics.umd.edu/rgroups/ripe/perg/](http://www.physics.umd.edu/rgroups/ripe/perg/) (2002)
- WITTMANN, M. (2002) The object Coordination Class Applied to Wavepulses: Analysing Students Reasoning in Wave Physics *International Journal of Science Education*. 24(1) 97-112

**A N E X O S**

**DEL**

**CAPÍTULO 7**

## ANEXO 7-A

### PROTOCOLO DE ENTREVISTAS COLECTIVAS DE DISCUSIÓN EN TORNO A LAS RESPUESTAS INICIALES, ESTUDIO PILOTO

#### 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 ¿pondrán considerarse armónicas?

En caso afirmativo: Describa y argumente el modelo.

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

#### RESPUESTAS INICIALES

<i>Estudiante</i>	<i>Unidades de análisis</i>
<b>E1C</b>	<b>1 “Es MAS<sup>1</sup>”, se repite periódicamente,” 2 “.. como se para es MAS variado, retardado o acelerado”</b>
<b>E2H</b>	1 “No es Armónico por el roce con el aire” 2 “El periodo depende de la longitud”
<b>E4J</b>	1 “No es MAS, la amplitud disminuye y la frecuencia también por el roce del aire”
<b>E5Y</b>	1 “Las vibraciones son transversales” 2 “en ellas disminuye la frecuencia, la amplitud, etc. por ello no es MAS” 3 “El peso de la masas del extremo no permite que haya oscilaciones armónicas”
<b>E6L</b>	<b>1. “No es un MAS según el modelo matemático;” 2. “las oscilaciones de la barra varían.” 3. “El Movimiento es Oscilatorio Amortiguado, hay elementos de dispersión de energía”</b>

#### REGISTRO IB, Entrevista colectiva, clase siguiente.

#### Discusión sobre modelo explicativo del movimiento de la barra y diseño experimental-Oscilaciones

E6 L Parte I

El texto del fragmento del registro del estudiante E6 en la entrevista colectiva se separó en:

4. “Mantenemos la posición de la clase pasada.”

---

<sup>1</sup> MAS, movimiento armónico simple

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" .....

## E6.L Parte II

A continuación presentamos dividido en frases, la segunda parte del texto del discurso del estudiante E6

- 17." Creo que se pueden medir amplitud y período o frecuencia, por ser las magnitud mas sensibles en este modelo."
18. "Podemos medir el coeficiente de elasticidad"
19. "se puede medir o calcular por algunas características del material."
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."
26. "El otro método es .... agarrar una plumita en el extremo de la barra y un papel que vamos moviendo a v ctte, para ver la posición de la barra en el tiempo."....
27. "La ecuación que encontramos es la que ya conocemos del móv. A. amortiguado.  
.....  $x(t) = Ae^{-\gamma t} (\cos(\omega t + \varphi))$
28. "Determino  $\gamma$ , con las amplitudes y la lámpara estroboscópica."

*Participa el docente con una pregunta: No se entiende lo de  $\gamma$  y la lámpara.*

29. "Es decir, este factor (señala  $\gamma$  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."
31. "El factor que determina todo esto es este que esta acá (señala en la relación a la frecuencia angular)"
32. "Si yo sé cual es  $\omega$ , voy a poder sintonizar la lámpara con el movimiento de la barra."
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."
34. "De esta forma voy a poder medir la A, para diferentes tiempos."...

*Entrev: ¿Y la segunda pregunta?*

E6 L Parte III

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

36 “La longitud directamente no esta en esa relación”

37 “pero es necesario saber la longitud para saber la frecuencia”

E4 JL:

Lo que altera la frecuencia sería la k de la barra, el coeficiente de restitución, pero como la k no varia.

E5 Y:

1 Básicamente en relación con la pregunta de que depende la frecuencia.

2 Nosotros consideramos que depende tanto de la masa que esta en el extremo de la barra, de la masa misma de la barra, la longitud de la barra y ,este, la fuerza que ejerce para separarla de la posición de equilibrio.

3 Este, para llegar a algún tipo de diseño que nos permite llegar a las características de ese móv.. ,

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.

10 Había que hacer pruebas con diferentes tiempos de obturación hasta que encuentre uno que me congele la imagen.

E1 C:

3 Las ec. que ella pensó me parecen que no son.

*Entrev. ¿por qué decidiste que no son ?*

4. Bueno en verdad no lo discutimos. No le pusimos condiciones, pero en principio, 5. pensamos en la barra, que había que darle una pequeña fuerza para desequilibrarla.

6. si uno tiene una pequeña porción de la barra y la pone a oscilar con una pequeña fuerza, necesitamos para esa cámara que tome fotos muy rápido muy rápido, por lo menos 80 fotos por seg., no sé todavía porqué.

7. Si uno toma una longitud grande uno la ve oscilar suave, pero si uno toma una longitud pequeña vemos que la barra oscila mas rápido, entonces hay necesitamos que tome muchas fotos. ....

8. Escribe en la pizarra la ec.

$$m \frac{d^2x}{dt^2} = -kx - B \frac{dx}{dt}$$

*Entrev. ¿qué es eso?  
(No responde).*

E6. L: Parte IV

- 35 Esta es la ec.(2) de móv.. de , esta es la representación.  
36 Si le quitamos este factor que esta acá, lo pinto en rojo (el último) nos queda una simple y vulgar ec. de MAS.  
37 Ok, esto representa, sin esto que esta acá (señala el factor último) el MAS.  
38 Simplemente la aceleración hay que igualarla a la Fuerza restauradora,  
39 el negativo implica que esta fuerza (kx) va estar en el sentido opuesto a esta otra (lado izquierdo).  
40 Por eso es que el móv.. va ser oscilatorio.  
41 Ahora, cuando yo considero lo que esta en rojo (ultimo término), quiere decir que hay otra fuerza que actúa en esa misma barra y al actuar esa fuerza sobre la barra, ya el móv. deja de ser armónico,  
42 porque ya esa fuerza disipa una cantidad de energía tal que la barra termina deteniéndose,  
43 y esta fuerza, o mejor dicho esta interacción es la interacción con el medio que le rodea.  
44 Por que esto es (señala la fuerza de roce) con respecto a la velocidad,  
45 entonces a medida que vemos que la barra se mueve mas rápido,  
46 Por eso cuando se alarga la barra se veía que el detenerse era mucho, mucho mas lento.  
47 A medida que la hacemos mas corta se ve que se detiene mas rápido,  
48 eso quiere decir que este coeficiente (B) es mayor  
49 eso es otra prueba de que esta ec. representa lo que estábamos viendo el día miércoles (refiriéndose a MAA)  
50 y no precisamente la del MAS.

*Entrev. Pero en la ec. de abajo (la solución de la ec. diferencial para el móv. amortiguado) no aparece el valor de k, ni de B (constante de relación entre F de roce y Velocidad) y ¿quien es  $\omega$ ?*

51 En el exponente aparece ese valor de B.

*Entrev: ¿Y el omega? ¿Es igual a k/m?(expresión que habían mencionado antes)*

JL: no es igual a  $(k/m)^2$

E6 L

52 Y la solución de esta ec. es (escribe otra vez la ec. solución del móv. Amortiguado), sen o cos, y depende de las condiciones iniciales.

*Entrev. Bien*

....

E2 H:

En primer lugar, la frecuencia es muy pequeña y el periodo es mayor cuando hay....

En segundo lugar, ...

2 Si la fuerza de rozamiento es muy grande entonces el móv. ya no sería periódico,

3 el cuerpo pasa del desequilibrio al reposo nuevamente.

4 En el Nov. A. Amortiguado, comienza con un valor A de amplitud y va disminuyendo continuamente.

5 De las ec. bueno son todas las que vimos en la pizarra.  
6 (Dibuja la gráfica de  $x-t$  para un móv. armónico amortiguado y señala la envolvente.  
7 Muestra que el factor de:  $Ae^{xpt}$ . representa el decaimiento de  $A$ . y la envolvente)

Conversación entre todos.

E1. C: Yo pensaba que por lo menos aquí (señala el contacto entre la barra y la mesa) podría haber un pequeño roce, si existiera, no se como calcularlo.  
No se si estaría incluido en el roce con el aire.  
E6: Eso tiene que estar contenido dentro de ....., Lo que consideramos es la fuerza disipativa debido al aire,  
si ese otro roce se considera entonces la ec. cambia.  
Nosotros habíamos pensado que si presionamos los suficientemente bien la barra de la mesa y colocamos otra pinza mas atrás, disminuimos el problema.

*Entrev. ¿Y midiendo esas tres variables es suficiente para verificar expe. si satisface el modelo?*

E4 JL Faltaría también la fuerza amortiguadora.  
E2 H. Calcular la fuerza amortiguadora,  
E5 Y: porque la otra se sabe por la  $k$  de la barra.  
E2 H. Con la  $F$  amort. y la  $F$  rest. Va a ser igual a la masa por la aceleración.  
E4 JL Pero la  $F$  amor, va a variar. Ah y además que depende de la velocidad, esta va disminuyendo entonces hay que medir  $v$ .  
E6 L: Si tengo todos esos valores ( $k$ ,  $b$ ,  $m$ ,  $v$ ,  $f$ .) si se puede satisfacer el modelo.

*Entrev. Cómo le demostrarían a alguien que si se satisface el modelo? Que es sinusoidal, que la variación de la amplitud satisface esa envolvente.*

E5 Y: La grafica, si no se comporta de forma sinusoidal

*Entrev. ¿qué graficas harían?*

JL. Posición en función del tiempo

*Entre. Y tenemos posición en función del tiempo para ver si se comporta de forma sinusoidal?*

JL. El tiempo es el que no ....  
E5 Y: Bueno, si sincronizamos las luces estroboscópicas, pero no se como montarlo o con la cámara de fotos, cada foto me da la posición y el tiempo entre una foto y la otra, se gradúa el tiempo de las fotos de la cámara, no se un valor, si tomamos una cantidad suficiente de fotos tenemos una serie de valores de posición tiempo.

Cada estudiante comienza a leer las preguntas relevantes que ha considerado para este experimento. Se escriben en la pizarra, si analizar se agrupan hasta obtener las preguntas que del grupo:

H. Que sucede si variamos la longitud de la barra?  
C Disminuye la  $A$  en un factor constante?  
C La  $A$  depende de la longitud de la barra?  
C. La ... permanece constante en un intervalo de tiempo fijo?  
C ....

C. ¿Cómo será el gráfico de la Froce en el tiempo comparado con el gráfico de la Frest con el tiempo?

JL ....

JL ¿qué otras condiciones además de la longitud de la barra pueden hacer que el móv. se aproxime a un MAS?

L: Considerando los casos de L extremos; para un L pequeño, el coeficiente B no se puede despreciar la fuerza disipativa, entonces como se puede medir B (el de amortiguación) ?

Y ¿qué fuerza disipativa?

JL. ...

L: ¿Cómo medir B (el de amortiguación) en este móv. ?

L: Segundo caso, para la L grande la fuerza disipativa es pequeña por ser la velocidad menor podrá reducirse a un MAS?

## ANEXO 7-B

### REFLEXIONES PERSONALES DE LOS PARTICIPANTES AL CULMINAR EL TL DEL ESTUDIO PILOTO

<i>Estudiante</i>	<i>¿Cómo y en qué momentos? Relación modelos teóricos y experimentales</i>	<i>¿Cómo fue el experimento que realizaste para dar respuesta a la pregunta: ¿cómo se relaciona la frecuencia angular con la longitud de la barra?</i>	<i>Criterios análisis A – t</i>
E1C	El momento en que relacione ambos modelos fue cuando superpuse el grafico del modelo experimental con el grafico del modelo teórico. Como de antemano contábamos con el grafico y los datos del modelo experimental , nos aprovechamos de ellos realizando una serie de operaciones de sustracción de datos para construir nuevos gráficos y construir una ecuación en relación al modelo teórico que describe el fenómeno estudiado(movimiento armónico amortiguado), luego con la construcción de la ecuación de modelo teórico se procedió a graficarla y a compararla con la del modelo experimental, para contrastar la confiabilidad y validación de nuestros resultados con los del modelo experimental.	La actividad de laboratorio que se realizo para contestar esta pregunta. Fue la de <u>observar en instantes iguales de tiempo el numero de oscilaciones de la barra</u> y luego aplicar el mismo procedimiento haciendo variar la longitud de la barra y comparando los resultados para cada variación de la longitud. Por otro lado, también se extrajeron resultados del modelo experimental observando el tiempo de oscilación entre dos picos continuos y insertando este tiempo en una ecuación que nos conduce a la frecuencia angular, este procedimiento se aplico a cada variación de la longitud de barra y luego se compararon los resultados.	Analizando la grafica se pudo concluir que la longitud de la grafica ( <i>amplitud</i> ) disminuía a medida que transcurría el tiempo de forma exponencial tal como lo predice la teoría del movimiento armónico amortiguado.
E4J	El modelo lo tomé en cuenta a la hora de trabajar con los datos obtenidos con el detector, cuando se hicieron las gráficas, cuando se le impuso la tendencia de la curva como una curva exponencial y a la hora de llegar a conclusiones. También antes de los datos tomados con el detector se hizo unas mediciones de Oscilaciones en función de tiempo y al momento de buscar la relación entre las frecuencias angulares calculadas y la longitud fijada de la barra se tomo mucho en cuenta el modelo de movimiento armónico simple	Se fijó una longitud de la barra y se puso en movimiento el sistema, se anotó <u>cuantas oscilaciones hacía el sistema para 10 seg. y para 20 seg.</u> luego se midió la frecuencia angular de forma indirecta y se hizo gráficas de W en función de L y W <sup>2</sup> en función de L <sup>-3</sup> . También con los datos de posición tomados con el detector, se obtuvo el promedio del periodo del movimiento de la barra y se calculó el promedio de la Frecuencia angular y se graficó los promedios de las frecuencias angulares en función a las longitudes fijadas en la barra.	Teniendo el modelo en cuenta, se sabía que la curva del gráfico a medida que transcurría el tiempo iría decayendo la amplitud de forma exponencial. Se tomó en cuenta la amplitud inicial para luego formar la ecuación de ese movimiento: $y(t) = A e^{-ct} \text{Sen}(\omega t + \theta)$

Estudiante	¿Cómo y en qué momentos? Relación modelos teóricos y experimentales	¿Cómo fue el experimento que realizaste para dar respuesta a la pregunta: ¿cómo se relaciona la frecuencia angular con la longitud de la barra?	Criterios análisis A –t
E5Y	Relacioné los modelos teóricos y el experimento desde el momento en que tenía que pensar que cosas hacer (planificar) para responder a las preguntas planteadas acerca del fenómeno que deseábamos analizar	El experimento realizado para responder la pregunta: medir el tiempo en el cual la barra realizaba 10 oscilaciones después de perturbarla, observándola a través de cortos desplazamientos transversales (amplitud) sobre una regla colocada perpendicularmente con respecto a la barra (en un soporte universal), empleando para las medidas de tiempo un cronómetro digital. Inicialmente, se fijaba el valor de la longitud de la barra para cada ocasión y con unas 10 mediciones para cada una se calculaba un promedio de frecuencia para las longitudes definidas. Esos resultados se tabularon para analizar la grafica registrada.	Conforme al modelo, la grafica amplitud-tiempo debía mostrar una curva de tendencia exponencial, la cual advertía que la amplitud disminuye de manera exponencial conforme a la constante de amortiguamiento, la cual era suministrada por la ecuación de la línea de tendencia del programa Excel. Además, el primer máximo de la grafica correspondía a la amplitud máxima del móv. armónico amortiguado.
E6L	<p>En un sentido amplio del contexto relación, el cual considera una proporción lingüística la cual se deriva en una relación matemática o al menos una aproximación concerniente a los ámbitos en cuestión; y haciendo un discernimiento con respecto a la situación que se presentaba para ese momento, considero que la forma o más correctamente, la visión del sistema conceptual creado entre los conocimientos teóricos y experimentales, fue en cierto sentido biúnica; lo cual implica una relación de doble <i>direccionalidad</i> entre el cuerpo de conocimientos antes mencionados, esto último unifica la estructura de la Física en un esquema cíclico de pensamiento y acción, el cual preacta una idea más amplia de la Ciencia y específicamente de la Física.</p> <p>Además este ámbito considera aspectos algo más elevados que la simple visión de la relación teoría-experimento.</p>	Respecto al experimento, este tuvo dos partes esencialmente: una primera en la cual se realizaron medidas manualmente con un cronómetro, mientras la segunda implicó la misma acción, pero con un radar, se automatizó la forma en la cual se realizó la medición de las variables posición y tiempo. Con los valores obtenidos de las mediciones realizadas con el cronómetro se estudió el tipo de relación que existía entre la longitud y la frecuencia angular, pero esta se limitaba únicamente a tal fin; antes de esta acción se pretendió realizar mediciones del cambio de la amplitud con el tiempo; esto mediante una lámpara estroboscópica y una regla, pero el intento, o más bien; el método, fue fallido esto por no haber encontrado la sincronía de la frecuencia de emisión de la lámpara con la frecuencia de oscilación de barra de aluminio.	<p>En cuanto a los criterios con los cuales se analizó el decaimiento de tipo exponencial de la amplitud de la barra con el tiempo; fueron en esencia dos: la frecuencia angular de oscilación y el coeficiente de amortiguamiento característico a la longitud, aún que se tomaron en cuenta otros criterios como por ejemplo: la correlación entre los términos teóricos y experimentales, la línea de tendencia calculada por la computadora y la ecuación teórica con valores experimentales, estos jugaron un papel secundario en el análisis del problema, pero de importancia relevante</p> <p>La relación que se estudió entre la frecuencia angular y la longitud de la barra de aluminio fue una relación potencial que decae con la longitud, es decir, la frecuencia angular disminuye a medida que la longitud aumenta. Pero en el sentido de un mejor análisis del sistema en cuestión, se realizó una grafica que no se había discutido anteriormente, esta es la relación entre el coeficiente de amortiguación y la frecuencia angular de oscilación; este grafico muestra de manera clara la tendencia hacia la</p>

<i>Estudiante</i>	<i>¿Cómo y en qué momentos? Relación modelos teóricos y experimentales</i>	<i>¿Cómo fue el experimento que realizaste para dar respuesta a la pregunta: ¿cómo se relaciona la frecuencia angular con la longitud de la barra?</i>	<i>Criterios análisis A –t</i>
			<p>linealización, pero es de considerar realizar más medidas de forma tal que se puedan hacer mayores pronósticos del movimiento de la barra de aluminio.</p> <p>Una de las posibles causas del comportamiento de los puntos iniciales son las condiciones iniciales –valga la redundancia– pues, estas nunca de midieron o tan siquiera de estimaron, siempre se consideraron iguales, para todos los montajes.</p> <p>En general, el experimento como un todo presentó diverso criterio de análisis y evaluación tanto teóricos como experimentales, hablando de estos últimos también se tomaron en cuenta los errores correspondientes a las distintas medidas o mediciones, estos sirvieron para comparar o estimar el comportamiento entre el modelo teórico y el experimento (los resultados experimentales) además de presentar un rango de credulidad al trabajo experimental (todo lo relacionado al método utilizado).</p>
E2H	<p>Siempre es necesario antes de diseñar un experimento tener conocimientos de modelo teórico ya que es la base para la interpretación del experimento.</p> <p>Empleamos el modelo teórico para contrastar modelo y resultados, relación que existe entre modelo teórico y fenómeno, y la utilización de las ecuaciones del modelo teórico para el proceso, transformaciones y análisis de problema</p>	<p>Se tiene una barra metálica flexible cargada con masas en un extremo y fija en el otro extremo, si se desplaza de su posición de equilibrio el sistema oscilará; con un cronómetro pudimos contar 20 oscilaciones para un tiempo de allí pudimos calcular la frecuencia y el período para diferentes <math>L</math>, luego obtuvimos la <math>\omega</math> (<math>2\pi/T</math>).</p> <p>Podemos decir que a medida que aumenta <math>L</math>, la <math>\omega</math> varía ya que la frecuencia es más pequeña y el período es mayor cuando hay rozamiento; la frecuencia depende de la longitud de la barra el cual es directamente proporcional a la frecuencia angular.</p>	NR

<i>Estudiante</i>	<i>Qué aprendiste en cuanto a: tema de oscilaciones; procedimientos experimentales; procedimientos computacionales; procedimientos comunicacionales; otros</i>	<i>Ventajas y desventajas de emplear los elementos de V de Gowin Vs. Informe de laboratorio</i>	<i>Diferencias y semejanzas, ciclo de laboratorio III y los cursos de laboratorio anteriores.</i>
E1C	<p>De cursos anteriores teníamos una vaga idea acerca de movimientos armónicos amortiguados con esta experiencia pasamos a otra etapa donde profundizamos un poco en el tema y ahora podemos decir que poseemos un conjunto de conocimientos que son algo bueno para seguir profundizando y realizar trabajos de investigaciones sobre este tema.</p> <p>Los procedimientos experimentales sugieren un delicado trabajo de recolección de datos pero ellos son los responsables de la construcción de los buenos resultados para la descripción mas aceptable de un fenómeno.</p> <p>Los procedimientos computacionales aportaron la fácil observación del fenómeno así como también la manipulación de datos para contrastar los modelos teóricos y experimental.</p>	<p>No me parece que contenga desventajas mas bien es muy ventajoso porque , aunque posee las mismos procedimientos que el antiguo informe es mas fácil de dar a conocer los resultados de una investigación manteniendo su debido orden.</p>	<p>Nuestros cursos anteriores creo que han sido muy buenos porque se nos ha enseñado y se nos ha puesto a trabajar como en este en todo momento, pero a diferencia de este hay que ser mas meticulouso y que además somos nosotros con la ayudan de la profesora los que establecemos las condiciones bajo las cuales se desarrollan lo procesos de discusión de temas y de investigación.</p>
E4J	<p>En el tema de Oscilaciones sabía que existía el fenómeno por curiosidad de explorar más allá del M.A.S. pero en ningún curso lo había visto y como solo había leído sobre el M.A.A. y el M.A.F. entonces me gustó ver el M.A.A de por lo menos la barra y estudiarlo, saber de donde proviene ese coeficiente retardador y algo que no se estudió pero que dio pié a que me interesara es la relación de proporcionalidad entre los coeficientes retardadores y la velocidad del sistema.</p> <p>Sobre los procedimientos experimentales y computacionales lo que sobresale es el uso del detector de movimiento que fue un aparato innovador por lo menos para mi, y que me imaginaba que con un aparato así sería más fácil las mediciones pero ni sabía que estaba al alcance de nosotros (esto fue antes de que lo utilizáramos) .</p>	<p>Una de las ventajas es que no da espacio ni oportunidad a dar información de más sino la necesaria.</p> <p>Usando la modalidad de poder utilizar una hoja o las necesarias por cada elemento de la V me parece una herramienta muy buena para comunicar los trabajos experimentales ya que se puede apreciar paso a paso lo que se realizó en la investigación.</p>	<p>Diferencias:</p> <p>La forma de entregar los resultados.</p> <p>El cómo surgió el montaje experimental y las preguntas experimentales, porque normalmente es impuesto el montaje por el prof. y se estudia el fenómeno en forma de responder las preguntas planteadas por el prof. aunque se deja libre plantearse algunas preguntas que surjan de la interacción con el montaje y responderlas a manera de curiosidad o simple sentido de aportar algo más a lo que el prof. desea que el alumno perciba.</p> <p>La manera de cómo verificar los prerrequisitos, en semestres anteriores se usaba la técnica del seminario los cuales se tomaban mucho tiempo y muchas veces no quedaba claro lo que íbamos a verificar, comprobar o medir.</p>

<i>Estudiante</i>	<i>Qué aprendiste en cuanto a: tema de oscilaciones; procedimientos experimentales; procedimientos computacionales; procedimientos comunicacionales; otros</i>	<i>Ventajas y desventajas de emplear los elementos de V de Gowin Vs. Informe de laboratorio</i>	<i>Diferencias y semejanzas, ciclo de laboratorio III y los cursos de laboratorio anteriores.</i>
E5Y	<p>En cuanto a tema de oscilaciones: Desglosar cada factor de la ecuación del oscilador armónico para analizar la función de los mismos en el móv., de esa manera se sabía que aspectos manipular para obtener los resultados deseados.</p> <p>Sobre procedimientos experimentales: aprendí a escoger bajo criterios específicos (bien orientados) los métodos mas apropiados según los fines perseguidos (en este caso se trataba de responder las preguntas planteadas, el problema) y los instrumentos disponibles. También, aprendí a reconocer la importancia de determinar los errores experimentales. Acerca de procedimientos computacionales: conocía la utilidad de Excel pero nunca la había aplicada de manera integral, tanto para tabular información como para graficar y analizar las mismas a través de sus propiedades. aprendí a utilizar un detector de movimiento electrónico y a analizar los datos arrojados por este. Con respecto de procedimientos comunicacionales: creo que fue clave el empleo de la V de Gowin para la elaboración del informe (era la primera vez que lo utilizaba) porque me pareció una forma integral y coherente de manejar la información y los resultados experimentales para contrastarlos convenientemente con los aspectos teóricos abordados.</p>	<p>Ventajas: ofrece orientación para manejar la información desde sus inicios, esto permite no perderse en el camino de la construcción de las experiencias de laboratorio, además, permite observar mejor la interacción entre la teoría y los métodos para analizar un evento a través de preguntas claves que limitan y encaminan de forma organizada, con secuencia y sentido la experimentación y el informe final. Como desventaja solo cabe el desconocimiento de esta técnica por parte de quien la desee emplear.</p>	<p>Semejanza: solo una, la necesidad de establecer nociones previas del tema y aclarar posiciones y concepciones erradas a través de las discusiones orientadas.</p> <p>Sin embargo, a partir de ese momento el laboratorio es distinto a los anteriores, a bien de que la experimentación es orientada desde un principio por preguntas claves que delimitan los métodos a emplear. Igualmente, en ese laboratorio no se comunica explícitamente lo que se espera o debe hacerse, sino que mas bien se da una orientación para que sea uno quien llegue a establecer conexiones y establezca un camino (manipulando la información y los instrumentos) para responder efectivamente las preguntas planteadas en un inicio. Uno se siente satisfecho de lo que obtiene porque lo siente propio y con sentido.</p>
E6L	<p>En materia de aprendizaje; pienso que uno de los aprendizajes más significativos fue el uso de la herramienta computacional; específicamente el uso del programa Excel, en el sentido de la Física una de las cosas que más impresión causó en mí conciencia fue la extraordinaria complejidad del proceso de la Madre Ciencia, no por el hecho fáctico en sí mismo, sino en el carácter pluridimensional de ésta; el hecho de la íntima relación o unión de los enfoques teóricos y</p>	<p>En cuanto a las ventajas y desventajas de la V de Gowin, considero que es muy pronto para evaluar un nuevo modelo de presentación de los resultados experimentales, lo que si puedo expresar es mi agrado hacia la estructura de tal modelo, ya que es lo suficiente mente flexible como para trabajar con el. Además la secuencialidad de los contenidos y su interrelación permite o bien derivar el paso siguiente o integrar el paso anterior en el contexto de lo expresado</p>	<p>Para mí persona resulta clara la diferencia entre este curso y los de laboratorios anteriores (I y II) en estos los practicas de hacían de forma dirigida, sin ningún tipo de planificación por parte de los Estudiantes, lo que hacia del laboratorio una experiencia no de descubrimiento y planificación de la acción experimental, sino más propiamente una acción de</p>

<i>Estudiante</i>	<i>Qué aprendiste en cuanto a: tema de oscilaciones; procedimientos experimentales; procedimientos computacionales; procedimientos comunicacionales; otros</i>	<i>Ventajas y desventajas de emplear los elementos de V de Gowin Vs. Informe de laboratorio</i>	<i>Diferencias y semejanzas, ciclo de laboratorio III y los cursos de laboratorio anteriores.</i>
	experimentales, representó un cambio significativo en la noción de enseñanza de la Física.		repetición de experiencias Clásicas. Pero una de las realidades de estos cursos antes mencionados es el aprendizaje y utilización de la teoría como herramienta solucionadora de conflictos experimentales y por supuesto la discusión a los pares de tal teoría; es evidente que la metodología no era la misma, ya que se sabía cual era de antemano la teoría que respondía a la pregunta de las quinientas lochas, pero por lo menos se realizaba la discusión
E2H	Procedimientos computacionales: aunque sabía manejar algo el computador y el Excel, tuve muchos problemas al inicio para hacer las transformaciones de la data y los gráficos. Aprendí que se pueden utilizar computadoras para realizar experimentos, transforma data, realizar grafico y ajustes al modelo Procedimientos experrimentales: aprendí a utilizar el detector de movimiento. No pensé que el computador se podía utilizar par realizar el experimento.	Llevamos de manera organizada el proceso del problema: Planteamiento del problema, preguntas experimentales que nos ayuda a saber ¿qué es lo que estamos buscando o lo que quiero que ocurra en el experimento, marco teórico, el diseño del experimento, el marco metodológico que nos permite el análisis de lo que estamos planteando y al obtener las conclusiones de manera coherente obtuvimos satisfactoriamente el aprendizaje	NR

**A N E X O S**

**DEL**

**CAPÍTULO 8**

## ANEXO 8-A

### CUESTIONARIOS PARA ESTABLECER EL ESTADO DEL DESARROLLO CONCEPTUAL INICIAL

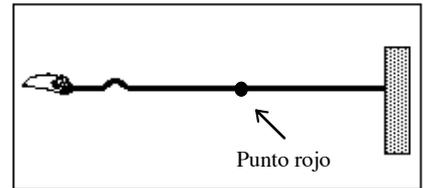
#### Cuestionario 1.

Señale cuál o cuáles de las siguientes situaciones pueden ser consideradas como **ondas**, justifique su decisión

Situación	Si/No	Justificación
1. El movimiento de una serpiente		
2. La "ola" en un estadio de béisbol		
3. Las olas que se forman y llegan a la orilla, cuando en un lago tranquilo pasa una lancha.		
4. Una canción que llega a nuestros oídos		
5. El péndulo de un reloj funcionando		

#### Cuestionario 2.

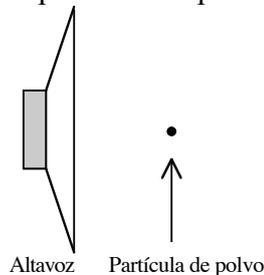
1. Una larga cuerda tensa está sujeta a una pared distante. Una persona mueve su mano hacia arriba y hacia abajo en un tiempo  $t_{mano}$ , creando un pulso de pequeña amplitud que llega a la pared en un tiempo  $t_o$  (ver diagrama) Un pequeño punto rojo es pintado sobre la mitad de la cuerda, entre la mano de la persona y la pared.



Cuando el pulso pasa por el punto rojo,  
¿Cómo se mueve este pedazo de cuerda? Explique  
¿Cuánto tiempo dura el movimiento del punto rojo? Explique

2. Una partícula de polvo está localizada en frente de un altavoz silente (ver figura). El altavoz es prendido y toca una nota a frecuencia constante.

Describa el movimiento de la partícula de polvo. Explique su razonamiento.



(Wave Diagnostic Test, UMd, Wittmann, Steinberg y Redish, 2001)

### Cuestionario 3.

1. Miguel y Laura están parados con una separación de 100 m, y gritan “Yo” uno al otro exactamente en el mismo instante. La frecuencia y el volumen de sus voces es igual.

a) ¿Cuál de las opciones siguientes es válida?

Oirá Laura primero a Miguel \_\_\_\_\_

Miguel oirá primero a Laura \_\_\_\_\_

Cada uno oirá al otro al mismo tiempo \_\_\_\_\_

Explique como llegó a su respuesta.

En alguno(s) de los siguientes casos, ¿cambiaría su respuesta anterior?

b) Si Laura gritase con menos volumen que Miguel e igual frecuencia Si \_\_\_ ¿cómo?

No \_\_\_ ¿por qué?

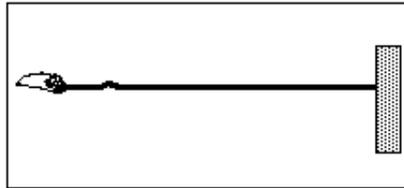
c) Si Miguel gritase con menor frecuencia que Laura e igual volumen. Si \_\_\_ ¿cómo?

No \_\_\_ ¿por qué?

(adaptación de Wave Diagnostic Test, UMd, Wittmann, Steinberg y Redish, 2001)

2. Una persona amarra una cuerda tensa a una pared distante y rápidamente mueve su mano hacia arriba y hacia abajo, creando un pulso que llega a la pared un tiempo  $t_0$  (ver diagrama)

¿Con cuál o cuáles de las acciones dadas en recuadro, la persona puede variar la cantidad de tiempo que le toma al pulso llegar a la pared?



Posibles respuestas a las preguntas de la situación 2:

- Mueve su mano mas rápidamente hacia arriba y hacia abajo con la misma distancia.
- Mueve su mano una distancia mas grande hacia arriba y hacia abajo en el mismo tiempo.
- Usa una cuerda de diferente densidad, pero con la misma tensión.
- Usa una cuerda de igual densidad, pero con mayor tensión.
- Pone más fuerza en la onda
- Pone menos fuerza en la onda
- Ninguna de las anteriores causa el efecto deseado.

(Wave Diagnostic Test, UMd, Wittmann, Steinberg y Redish, 2001)

## ANEXO 8-B

### GUIÓN DE TRABAJO CON LAS SIMULACIONES-TUTORIALES

Nombre del estudiante:

fecha:

#### Tutorial de Ondas

*A continuación encontraras un guión para trabajar con una simulación obtenida de la web.*

*Las respuestas a las preguntas que se hacen o las observaciones que se solicitan reportarlas en la hoja anexa. De igual forma las conclusiones.*

#### **Guión 1.** Archivo Simulación: Descripción de la propagación

([www.sc.ehu.es/sbwhch/fisica/ondas/descripcion/descripcion.html](http://www.sc.ehu.es/sbwhch/fisica/ondas/descripcion/descripcion.html))

Pulso triangular, sin dispersión, moviéndose hacia la derecha a lo largo de X. (ej. una barra sólida golpeada con un martillo)

🍏 Pulse el botón **Empieza** y ponga en acción la simulación. Deténgalo.

1) ¿qué representa la figura inferior?

🍏 Pulse el botón **Paso** y ponga en acción la simulación poco a poco.

2) ¿se mueven las partículas de la barra? ¿cómo? Observe el grupo de puntos marcados en rojo

🍏 Pulse el botón **Empieza** y ponga en acción la simulación

3) ¿qué es lo que se mueve hacia la derecha en la barra?

4) ¿qué ancho tiene la zona perturbada en la barra?

🍏 Utilizando el botón **Paso**

5) ¿con qué velocidad se mueve el pico de la función hacia la derecha? (fig. superior)

Contrástalo con el valor de velocidad de propagación del simulador.

6) ¿qué ancho tiene la función triangular?

7) ¿qué representa la función triangular de la figura superior?

¿Qué conclusiones elabora de este trabajo?

Nombre del estudiante:

Fecha:

## Tutorial de Ondas

A continuación encontrarás un guión para trabajar con una simulación obtenida de la web.

Las respuestas a las preguntas que se hacen o las observaciones que se solicitan reportarlas en la hoja anexa. De igual forma las conclusiones.

### Guión 2. Archivo Simulación: Movimiento Ondulatorio Armónico (pag. 4) ([www.sc.ehu.es/sbwich/fisica/ondas/ondaArmónica/ondasArmónicas.html](http://www.sc.ehu.es/sbwich/fisica/ondas/ondaArmónica/ondasArmónicas.html))

Ondas armónicas producidas por una fuente vibratoria con MAS (martillo) y propagadas en una barra.

🍏 Pulse el botón **Empieza** y ponga en acción la simulación. Deténgalo.

🍏 Ahora pulse el botón **Paso** y ponga en acción la simulación poco a poco.

1) Suponga la barra constituida por grupos de partículas en planos transversales ¿se mueven estos grupos de partículas de la barra? ¿cómo? Observe el conjunto de puntos ubicados en  $x = 3$ .

🍏 Pulse el botón **Empieza** y ponga en acción la simulación

2) ¿qué es lo que se mueve a través de la barra hacia la derecha?

🍏 Detenga la simulación.

3) ¿Cuántos máximos y mínimos de compresión de partículas de la barra hay en una distancia 'x' igual a la longitud de onda dada,  $\lambda$ ? (Se sugiere ajustar las 'partículas' azules en  $x = 3$ , mediante el botón **Paso**)

4) ¿Qué representa la figura de la parte superior?

🍏 Pulse el botón **Paso** y ponga en acción la simulación poco a poco.

5) Determine la velocidad del movimiento hacia la derecha de un máximo de compresión (o de un mínimo).

Compárelo con el valor de velocidad de propagación de la onda.

6) Para una configuración de frecuencia, velocidad y longitud de onda ( $f$ ,  $v$ ,  $\lambda$ ) dada (por ej.  $f = 2$ ,  $v = 4$ ,  $\lambda = 2$ ). ¿Cuánto tiempo tardarán las partículas de la barra en moverse un ciclo, ¿por qué?

Contrástalo con la simulación. (observe el grupo destacado en azul)

Compárelo con el tiempo que tarda un máximo de compresión (o un mínimo) en moverse una distancia igual a la longitud de onda  $\lambda$ .

Compárelo con el periodo de oscilación ( $T = 1/f$ ) de la fuente.

¿Qué conclusiones puede elaborar de este trabajo?

Nombre del estudiante:

Fecha:

## Tutorial de Ondas

*A continuación encontraras un guión para trabajar con una simulación obtenida de la web.*

*Las respuestas a las preguntas que se hacen o las observaciones que se solicitan reportarlas en la hoja anexa. De igual forma las conclusiones.*

### Guión 3.A Archivo Simulación: Reflexión y Trasmisión de ondas.

Ondas propagándose en cuerdas homogéneas  $v_1 = v_2$  (pag 4)

([www.sc.ehu.es/sbwmh/fisica/ondas/refraccion/refraccion.html](http://www.sc.ehu.es/sbwmh/fisica/ondas/refraccion/refraccion.html))

Ondas armónicas producidas por una fuente vibratoria con MAS y propagadas en una cuerda que no presenta discontinuidad.

🍏 Inicie la simulación con la misma velocidad en ambas regiones (blanca y lila)

$v_1 = v_2 = 2$  y  $f = 2$ .

Pulse el botón **Empieza**, observe la simulación. Deténgalo.

1) ¿qué representa la figura ?

🍏 Pulse el botón **Paso** y ponga en acción la simulación poco a poco.

2) ¿Se mueven los elementos 'dx' de la cuerda? ¿Cómo?

¿De qué dependen las características de este movimiento?

🍏 Pulse el botón **Empieza** y ponga en acción la simulación.

3) ¿qué es lo que se mueve en la cuerda hacia la derecha?

4) ¿qué ancho tienen las ondas?

🍏 Utilizando el botón **Paso**, vea en acción la simulación poco a poco.

5) Si se varía (aumenta/disminuye) la velocidad de la onda manteniéndola igual en ambas regiones, y se deja fija la frecuencia de oscilación de la fuente ¿cambiaría la longitud de onda? Si \_\_\_\_\_ ¿ cómo? No \_\_\_\_\_ ¿Por qué?

Contrástalo con la simulación. (Recuerde mantener iguales las dos velocidades )  
Observación

Si surgen discrepancias discute sobre ellas.

- 6) Si varía (aumenta/disminuye) la frecuencia de oscilación de la fuente, manteniendo la velocidad de la onda igual en las dos regiones  
¿qué cambios se sucederán en la onda? ¿por qué?

Contrástalo con la simulación.  
Observación

Si surgen discrepancias discute sobre ellas.

- 7) La velocidad de una onda en un medio no dispersivo, depende de:  
¿La vibración de la fuente? Si \_\_\_\_ ¿cómo? No \_\_\_\_ ¿por qué?

¿Las propiedades del medio? Si \_\_\_\_ ¿cómo? No \_\_\_\_ ¿por qué?

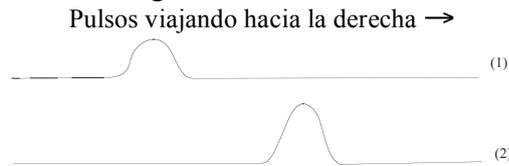
¿Qué conclusiones puede elaborar de este trabajo?

<b>LOS GUIONES ORIGINALES CONTENÍAN ESPACIOS PARA QUE LOS ESTUDIANTES ESCRIBIESEN SUS IDEAS EN CADA CASO</b>
--

## ANEXO 8-C

### CUESTIONARIO PARA ESTABLECER EL ESTADO DEL DESARROLLO CONCEPTUAL FINAL

- A) Se tienen dos cuerdas largas, idénticas y con igual tensión sobre el suelo.  
Dos personas envían un pulso, cada uno por una cuerda.  
En un instante de tiempo “ $t$ ” se fotografían las cuerdas, observándose un comportamiento como el de la figura:



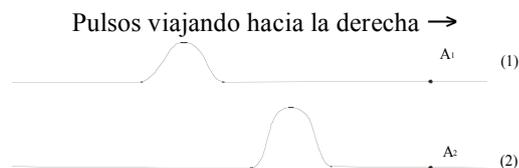
¿Cuáles de las afirmaciones siguientes le parecen correctas? Justifique sus respuestas.

1. La velocidad de propagación del pulso en la cuerda 2 es mayor que en la cuerda
2. El pulso 2 se envió antes que el pulso 1.
3. El tiempo que demoran las personas en subir y bajar la mano para producir el pulso es el mismo.

- B) Se tienen dos cuerdas distintas sobre el suelo.

Dos personas envían un pulso (cada uno por una cuerda) levantando la mano al mismo tiempo.

En un instante de tiempo “ $t$ ” se fotografían las cuerdas, observándose un comportamiento como el de la figura:



- B.1. ¿Las velocidades de propagación de los pulsos son iguales?

Si  No  No puedo decidir  ¿Por qué?

- B.2. ¿El tiempo que demoran las personas en subir y bajar la mano para producir el pulso es el mismo ?

Si  No  No puedo decidir  ¿Por qué?

## **ANEXO 8-D**

### **REFLEXIONES ESCRITAS DE TRES ESTUDIANTES PARTICIPANTES EN EL ENSAYO, ORGANIZADOS POR UNIDADES DE ANÁLISIS**

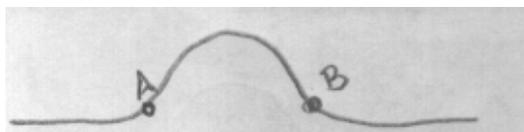
#### **Estudiante E6L**

1. Los aprendizajes que logré estuvieron en la dirección de lo fenomenológico, es decir, en la interpretación del hecho físico en sí. APRENDIZAJE GENERAL
2. Para esto tuve que crear constructos mentales en los que se viese al mismo tiempo los planteamientos teóricos y los resultados experimentales, esto con el fin esencial de “cuestionar” ambos planteamientos y hasta la posición ... de mi percepción; esto es para lograr una mejor interpretación de los conocimientos tanto experimentales como teóricos. PROCESO COGNITIVO
3. La contrastación .... fue fundamental para la formulación de las posibles respuestas a las situaciones, además de ser un rico incentivo en la reproducción del conocimiento en el campo de las ondas. VALORACIÓN
4. En cuanto a los razonamientos estos fueron guiados, esencialmente, por lo planteado en la teoría, cuestión que desde un punto de vista presenta gran utilidad, ya que el conjunto de ideas que se puedan tener están respaldadas, pero desde otra visión considero que para el trabajo experimental la sobrevaloración de lo teórico puede enmarcar el pensamiento hacia una posible respuesta que “debe encontrarse en algún lugar” o que lleve al experimentador a pensar que “la teoría esta bien, el experimento esta mal”; sin considerar otros aspectos de las mismas. CRÍTICA
5. La formulación de las preguntas experimentales, fue una ruptura a la tediosa concepción del laboratorio tradicional, ya que la construcción de los experimentos se realizó en función de las mismas, con lo cual el experimento dejo de ser -a mi modo de ver las cosas- un ente presto únicamente a la comprobación de los resultados teóricos; sino una herramienta presta a la confrontación de las ideas previas nacidas de la teoría. VALORACIÓN-META GENERAL
6. En relación con los demás procedimientos experimentales, la utilización de video point fue una herramienta de gran utilidad, y el aprendizaje de como utilizar éste fue una excelente oportunidad para incursionar un poco más en el universo de la tecnología, además, brindó la oportunidad de conocer otras maneras de medir que no necesariamente son reglas, cronómetros u otros objetos, lo cual se traduce en la innovación de las estrategias de enseñanza de la Física. APRENDIZAJE
7. En síntesis, considero que dentro de un amplio espectro, los aprendizajes se lograron, sobre todo los relacionados con la interpretación física de la fenomenología del evento y con el cómo registrar el evento de manera tal que los datos que se obtengan, sean capaces de reproducir el hecho físico y de esta manera estudiar las relaciones entra las variables que se involucran en el fenómeno. APRENDIZAJE LOGRADOS

#### **Estudiante E4J**

1. Con este trabajo de laboratorio me divertí muchísimo, el haber salido del aula a hacer la experiencia en un espacio abierto del IPC y buscado por nosotros mismos fue muy chévere. VALORACIÓN

2. .... me hizo pensar en todos los factores que podían intervenir en nuestra medición y eso me hacía interesarme más en el estudio. PROCESO COGNITIVO / VALORACIÓN
3. Tomamos las medidas a través de situaciones filmadas para analizar esas películas en un programa para computadoras llamado VideoPoint, al principio pensé que tomar los datos iba a ser complicadísimo pero fue de lo más sencillo. APRENDIZAJE METODOLÓGICO
4. Con respecto al análisis, como ya sabíamos utilizar el Excel entonces fue fácil hacer las transformaciones, haciendo gráficos, cálculos de errores, promedios, desviaciones estándar, calculando las magnitudes con expresiones extraídas de la revisión bibliográfica en fin hasta aquí todo era muy divertido. VALORACIÓN
5. Al llegar el momento de hacer los análisis de los datos fue lo más complicado, ahora tenía que comparar los resultados obtenidos con los resultados teóricos calculados previos al experimento. Los resultados experimentales no estaban lejos de los teóricos. APRENDIZAJE
6. Aquí se hicieron muchas consideraciones siempre estuve pensando en el modelo teórico, cada gráfico que hacía lo veía y lo veía, pensando en lo que debería darme (o sea algo parecido al modelo). PROCESO COGNITIVO
7. Una cosa que me extrañó fue que las velocidades teóricas calculadas eran menores a la experimental y me sorprendió. NOVEDAD
8. Y llegó el momento de hacer conclusiones y yo soy pésimo haciéndolas. AUTOEVALUACIÓN
9. Lo que se me ocurrió hacer fue tomar las preguntas y responderlas con los análisis y si el objetivo del estudio era responder las preguntas planteadas entonces ya estaba resuelto el problema, a excepción de una pregunta que no pude responder ya que con las medidas tomadas y sus transformaciones no se pudo responder a la relación entre  $\lambda$  y velocidad de la onda. PROCESO COGNITIVO / APRENDIZAJE
10. Sería recomendable hacer de nuevo el experimento pero con formas de pulsos que yo denomino “clásicas”, para poder medir la distancia del punto A al B correspondientes al valor de  $\lambda$  y hacer gráficas de  $V - \lambda$  que debería dar como curva una recta que nos diría que  $\lambda$  es proporcional a la velocidad de propagación del pulso. SUGERENCIA PARA OTROS TL



### Estudiante E1C

1. En dichos informes se estudiaron los fenómenos ondulatorios que pertenecían a las ondas de materia, es decir, ondas que necesitaban de un medio material para propagarse. META GENERAL DEL TL
2. En los cursos anteriores había recibido por parte de los profesores una introducción básica sobre el comportamiento de fenómenos ondulatorios, esta introducción fue explicada con la descripción de fenómenos sencillo, pero aunque los fenómenos eran sencillos su interpretación no se captaba en su totalidad debido a que se nos instruía de forma teórica en todas las clases y no se nos orientaba hacia la comprobación de

resultados experimentales. De esta forma, sin la observación del fenómeno directamente y sin la manipulación o reproducción de fenómenos que describan el modelo se torna mucho mas complicado su estudio lo cual no facilita su comprensión, haciéndola menos significativa en su aprendizaje. VALORACIÓN DEL PROCESO DE TL

3. Comenzamos nuestro estudio sobre los fenómenos ondulatorios de forma experimental con un fenómeno clásico, estudiar el comportamiento de un pulso ondulatorio que se mueve a lo largo de un resorte que tiene sus dos extremos fijos en el cual se genera un pulso que viaja en el tiempo. DESCRIPCIÓN DEL FENÓMENO ESTUDIADO
4. Antes de la filmación de la película estudiábamos un poco la teoría del movimiento ondulatorio y discutíamos algunos fenómenos, entre ellos el comportamiento del muelle y determinamos su posible comportamiento así como también la relación entre las variables que describían su comportamiento. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO
5. Luego de haber analizado la relación entre las variables planteábamos las preguntas experimentales en relación a ellas, DESCRIPCIÓN DEL PROCESO
6. .... para estudiarlas (*se refiere a las preguntas*) con el montaje experimental. Procedíamos al diseño del montaje experimental que nos permitiría realizar nuestro estudio. Se establecía el montaje mas sencillo para no complicar el estudio del fenómeno. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO
7. Tal fenómeno fue estudiado capturando el comportamiento del pulso con una filmadora. La película grabada era vaciada en el computador y mediante un programa era capturada por cuadros. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO
8. Luego, a través del computador y la observación de la película en la pantalla se podían extraer resultados experimentales de posición y velocidad-tiempo para hacer análisis del comportamiento del resorte y poder profundizar en el estudio y comprensión de los fenómenos ondulatorios. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO
9. Cabe mencionar que para extraer los datos del computador y organizarlos de forma tal que permitieran el estudio del fenómeno, había que ponerse en sintonía con las operaciones necesarias que facilitaban la extracción de datos, lo cual nos obligaba a ampliar los conocimientos informáticos para llevar a cabo nuestra labor de investigación o estudio. APRENDIZAJE OPERACIONAL
10. Luego de extraer y operar con los datos experimentales se hace una comparación de resultados experimentales con resultados teóricos para contrastar la teoría con la practica y la validez y confiabilidad de resultados obtenidos. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO
11. Desde esta perspectiva se aprecia entonces que a diferencia de antes (*se refiere a las cursos de teoría*) el nuevo proceso de enseñanza se orienta por dos caminos que integran la formación y comprensión en un estudio mas significativo del proceso de instrucción. El hecho de hacer contrastar la teoría con la practica nos conduce hacia una interpretación y descripción verdadera y consciente de los fenómenos. APRENDIZAJE GLOBAL VALORACIÓN
12. Puede apreciarse entonces cómo la actividad experimental rescata la teoría fortaleciéndola y aumentándola para beneficio de la construcción de conocimientos. APRENDIZAJE GLOBAL

## ANEXO 8-E

### GUIÓN PARA LA ENTREVISTA FINAL

¿Qué funciones le ves a buscar un modelo en un TL frente a un problema?

Imagínate que un físico esta trabajando con un fenómeno para el cual no tiene un modelo teórico ¿qué haría? ó ¿Podríamos hacer un trabajo experimental si no tenemos un modelo físico planteado?

¿Cómo se relacionan la Pregunta y el diseño?

¿Qué implica hacer un diseño experimental?

¿Qué valor tiene el estimar los errores? ó ¿Por qué crees que los errores deben considerarse en todos los experimentos?

¿Cómo garantizaríamos que los datos son confiables?

¿Por qué y cuándo conviene hacer mas mediciones?

El tipo de problema que se aborda en el laboratorio ¿es siempre igual?

¿Con qué criterio se decidían el procedimiento de análisis, ajuste de tendencia, contraste con modelo, otros..?

La V de Gowin que planteamos desde el principio ¿cómo la usaste? ¿crees que te ayuda?

¿Qué crees que aprendiste en este laboratorio?

En relación con los laboratorios anteriores ¿Cómo se comparan?

## ANEXO 8-F

### PROTOCOLOS DE LAS ENTREVISTAS FINALES TRANSCRITAS

#### ESTUDIANTE E2H

*¿Qué funciones le ves a usar un modelo en un TL?*

Bueno yo pienso que deberíamos usar un modelo teórico para constatar un TL, para el trabajo experimental debemos tener alguna orientación del modelo teórico para poder hacer la relación entre los resultados.

*Imaginate que un físico esta trabajando con un fenómeno para el cual no tiene un modelo teórico ¿Qué haría?*

Bueno, yo me imagino que haría varias veces el experimento a ver si coinciden los resultados y compararía con los de otros físicos si no puede constatarlos con un MT diría que están correctos

Debería construir un modelo teórico, un físico de los que hacen libros, que es un investigador.

*¿Cómo se relacionan la Pregunta y el diseño?*

Tiene que haber coherencia entre las preguntas y los procedimientos.

*¿Qué contiene un diseño?*

Primero elaboramos las preguntas, de allí sacamos el diseño del experimento: ¿qué era lo que íbamos a hacer? ¿Qué íbamos a medir? Uno debió de tener las hipótesis y todo aquello que era necesario para las preguntas.

Las preguntas las analice cuando estaba planteando las hipótesis.

Para el diseño tomo en cuenta las preguntas experimentales. Pondría el procedimiento paso por paso.

Contendría los materiales, el objetivo, lo que se espera, los análisis, conclusiones,

*¿Qué valor tiene el estimar los errores?*

Con la propagación de los errores, los errores de las medidas podemos ver que lo estamos haciendo bien si esta preciso, si vamos por buen camino, constatando con el MT

*¿Cuándo te das cuenta que esta mal?*

Cuando hacemos el contraste con el modelo teórico, pues ya tenemos una visión de cómo tiene que ser el resultado, por Ej. en el caso de la velocidad del sonido en el aire ya sabían cuanto era, así que mas o menos tenia que darnos aproximadamente eso.

Si un error es muy grande la medida esta muy por debajo o muy por encima del valor calculado.

*Y en el caso del 2do laboratorio, las velocidades que obtuvimos eran mayores que las teóricas*

Lo que pasa que se hicieron esas medidas con diferente parámetros, uno fue experimental y otra con cálculos con valores distintos. Cada uno debía tener sus errores. La del computador debería ser mejor, pues las computadoras no se equivocan.

*En el proceso de las medidas en las películas*

Los errores estarían en el roce con la superficie, el aire, la toma de la película.

*Y después con las medidas en la computadora.*

Los errores están pero no son tan evidentes como cuando hacemos medidas manuales

*Y en el caso de las medidas con el micrófono*

Los errores son de las partes externas. La medida que hace el computador a través del micrófono no lo detectamos, me imagino que eso lo debe tener el propio computador.

*¿Cuándo se hacen varias medidas?*

Para ver que tan exacto, que tan precisas son las medidas, así sacamos el promedio y el error, si las medidas son parecidas entonces estamos ante un valor mas preciso.

*¿Por que crees que los errores deben considerarse en todos los experimentos?*

Para confirmar que esta bien hecho el experimento debemos calcular los errores para saber que tan bien están las medidas

*¿En cuánto a los métodos y técnicas aprendidas?*

Yo siento que yo aprendí mucho en este curso, hay muchas cosas que yo nunca había hecho. La medidas que hicimos con el detector, con el Excel, con las películas.

Trabajar en grupo me costo, el grupo era muy desentonado. Falto comunicación.

*En función de procesamiento de datos ¿Qué aprendiste?*

El uso del programa de Excel, aprendí a usarlo. Para acomodar los datos y obtener los resultados.

Aprendí transformaciones, por Ej. en el TL1 obtener los picos máximos, y todo el proceso. En el TL2 no sabía las transformaciones que tenia que hacer. Eso no me quedo claro.

*¿Cuándo hicimos los gráficos A-t, x-t, etc., hicimos el ajuste de curvas en base a ¿Qué decíamos?*

Esa parte también me falto, no logre tener claro, en el ultimo informe ahí la velocidad era constante tenía que dar una línea recta

*¿El qué?*

El grafico

*¿Cuál grafico?*

El de posición tiempo. Pero no estamos graficando x-t, o si, a No, era amplitud-tiempo, entonces no era necesario tomar la tendencia lineal porque no era posición tiempo.

*Entonces ¿cuál era el criterio para hacer un análisis de tendencia y después decidir cual tendencia?*

En el primero hicimos un análisis con la exponencial

*¿Por que dijimos que era exponencial?*

Daban diferentes valores. La amplitud era constante.

Pero que estábamos consiguiendo. No me acuerdo. Ve, eso es lo que no entendía también, yo supuse que era según lo que nos daba el grafico, si era una recta era lineal, si era una curva era exponencial.

*Entonces, la decisión es en función de lo que vemos en la figura o hay otros criterios.*

Tiene que ser en función de lo que veamos en el grafico, si es una curva o una línea recta, no se si habrá otro...

*Solamente*

Si.

*Cuando hicimos el grafico x-t de los pulsos, ¿qué esperábamos ahí?*

Que la velocidad fuese constante. Por que nosotros colocábamos los punticos, punticos se veía una línea recta, que el pulso iba así.

*¿Usamos el modelo teórico para analizar los resultados?*

Si, nosotros usamos el modelo teórico, tenemos unas preguntas, todo eso tiene que ser coherente con lo que estamos haciendo, cuando al final hacemos el análisis obtenemos los resultados, debemos constatar o darnos cuenta que sí se obtuvo lo que esperábamos, de acuerdo con el MT, porque en el modelo teórico aparte de que revisamos libros, teoría; vamos construyendo las hipótesis de acuerdo a las preguntas del exp. y eso era la que queríamos, vamos haciendo el experimento, los análisis, los resultados obtenidos deberían ser los esperados de acuerdo al MT.

*Entonces en esas graficas había algo teórico ¿Qué esperábamos?*

Si, incluso en el TL1 que había que constatar los datos teóricos con los experimentales, y había que hacer una grafico unido, de esta forma estamos empleando el MT y los datos experimentales para hacer la conexión.

*La V de Gowin que planteamos desde el principio ¿como la usaste? ¿crees que te ayuda?*

Si la use, esa era la idea, nosotros hicimos el trabajo con la V. La use en el momento del informe.

*Solamente*

Si

*Durante el trabajo del lab no la usaste*

No, porque después de que tenia todo, fue que me fije en la V para meterlo ahí. Bueno si, al principio si, cuando ud. nos dijo fijense y nos dio los ejemplos, pero para meter los datos y todo lo que tenia que hacer era la final.

Bueno para hacer el evento yo tuve que haber visto la V, y decir el evento es esto, se tiene la barra lo que iba a montar, y para ver los datos, registros, transformaciones, tuve que haber visto la V. Como que me estoy contradiciendo. Me estoy acordando que si tuve que haber visto la V para ir anotando en el cuadernos, las preguntas, las variables, cosas no se especificaban en la V. Siempre la tenia allí para que tenia que hacer, pero al final era que lo organizaba.

*En relación con los laboratorios anteriores ¿Cómo los comparas?*

En el lab II vi el manejo de los instrumentos, los errores, la propagación de errores, y aquí en el lab III fue como mas profundo pues manipulamos mas el experimento. Lo que hice en el lab II me sirvió como herramientas para el lab III igual en Física experimental.

FIN.

## **ESTUDIANTE E6L**

*¿Qué funciones le ves tu al buscar un MT frente a un problema..*

Yo creo que es fundamental, pues aun cuando muchas veces no nos da todo lo que es el abre boca de lo que son las respuestas exp. nos da un abanico de ideas lo que podemos resolver o encontrar, como lo vimos aquí, cuando hacíamos el exp. teníamos la necesidad de ajustar el MT, para no adaptar la teoría al exp. sino al revés, recíprocamente, es decir, la T me da nociones e ideas con las cuales voy a abordar en

primera línea el problema y luego esas ideas las voy madurando, evolucionando para mejorar el MT y el resultado Exp. Es fundamental

*¿Podríamos hacer un trabajo exp. sino tenemos un modelo físico planteado?*

No, porque sería no tener una idea, sería como escribir sin tener el qué escribir.

*¿Qué relación ves tu entre la preguntas y el evento que estamos diseñando?*

Bien, allí la cuestión sería la pregunta debería responder a alguna inquietud y ellas deberían darme el piso para hacer la construcción que necesito y hacer el experimento, para así demostrar, verificar o descubrir alguna ley física. La pregunta es cómo debo hacer el modelo y cómo debo trabajar ese modelo, igualmente como debo trabajar la teoría. Siempre la pregunta va a apuntando a responder cosas o demostrar cosas, el experimento apunta hacia eso, y el modelo también, entonces las tres cosas se unen para responder las preguntas.

*¿Por qué hacemos experimentos?*

Buena pregunta, haber, ..... bien, mas o menos con lo que he leído y la experiencia, primero la física es fáctica entonces es susceptible de cualquier medida, el experimento es muy necesario pues me va a permitir hacer predicciones futuras, si tengo las mismas, bien, en esta situación como en la anterior, es a juro y por que si, va a suceder algo muy parecido siempre bajo las mismas condiciones: es por eso que uno hace ciencia para hacer predicciones, es poder predecir, dentro del determinismo incluso dentro del determinismo probalístico y la cuántica uno tiene eso. Además, también desde punto de vista Pedagógico tiene además de ese poder, la función de dar una imagen clara del trabajo científico, no es simplemente no como se hace muchas veces, una teoría en un pizarrón, se escriben paginas de un libro de física, y se dice que se aprende, No Yo parto de la idea que el experimento no como demostración sino como instrucción en el manejo de la física. No es como dicen, vamos a hacer una demostración o una simulación, No, vamos a ver como se comporta el modelo, como se comporta el modelo experimental, vamos a comparar, para eso es el experimento para comparar esos resultados.

*Cuando haces el diseño experimental ¿que incluyes?*

Bueno, primero busco los antecedentes, para ver en qué estoy, en segundo lugar ver qué teoría esta sustentado eso, tercero ver qué puedo mejorar en ese diseño, si el diseño es el correcto para eso.

*Pero ¿el diseño que tiene?*

Ah, las hipótesis, el marco metodológico, para encontrar las variables, relacionar las variables como se comportan una con respecto a otra, el MT que me sustenta el experimento, los resultados y el análisis de las mismas y las conclusiones.

*¿Cuando uno planifica el evento que incluye?*

Depende, porque por ej. puedo tener un experimento de termodinámica y tengo un bosquejo del libro donde me dice haga esto y esto, pero yo necesito incluir otras cosas. No creo que exista una receta general, tiene que ser adaptado al experimento, adaptado a lo que quiero, a la teoría.

*¿Cómo garantizaríamos que los datos son confiables?*

Primero sería,.. me lo imagino como si otra persona me da el trabajo a mi, bueno pero ¿eso será así?, bueno repetiría el experimento, para ello necesito toda la información de como hizo el experimento, si yo veo que hay discrepancias y haga todo lo que ellos hicieron, pensaría que no son confiables. Si no puedo repetir el experimento, vería los errores ¿qué tanto es el margen de error? y estimar teóricamente esos resultados.

*Y ¿cuál es la función de los errores?*

Estimar en que rango me muevo, me alejo mucho de la idea establecida teóricamente, me acerco, me da la estimación de cuan confiable es el resultado. Por eso es importante

*Si no podemos tener un valor teórico estimado*

En ese caso, podríamos repetir una secuencia de experimentos con algún grado de distinción para ver como discrepan esos resultados por ese grado de distinción, por ej. puedo cambiar una variable aquí y luego otra acá, para ver que tantos cambios ocurren y como esos cambios afectan ese resultado, por lo tanto veo que eso corresponde con los resultados esperados. También esperaría que otros hagan el experimento para ver en qué medida se corresponden esos resultados entre si.

*En términos del curso ¿Que métodos y técnicas aprendiste o reaprendiste?*

Recordé como usar el vernier.

Utilizar el VideoPoint, la película me permitió darle bastante tiempo a la observación y el detalle, pues en otros experimentos mides y listo, aquí puede detenerte a detallar el fenómeno. Creo que me permitió ampliar la visión experimental.

el uso del Excel fue una herramienta se retomo con mas significación que en curso anteriores. No se uso antes con esa extensión como ahora, hice las graficas, calcule errores, analice.

*En términos de procesamiento de datos ¿qué aprendiste o reaprendiste?*

En cuanto a eso, ahí como ya dije, fue mucha mas significativo, porque se produjo mayor data para un experimento, estimo que teníamos en e TL1 como 1000 datos, pudimos clasificarlos, calcular parámetros a partir de ellos, emplear esos nuevos datos como combustible para obtener otros datos, y el Excel fue una herramienta relevante pues a mano todavía estriamos procesando los primeros datos.

*En ese proceso de procesar datos, se emplearon varios procedimientos, contraste de modelo teórico con experimental, o análisis de tendencia ¿ que te pareció esto?*

El análisis de tendencia fue nuevo, fue muy bueno y significativo pues en cuanto a la graficas y como se superponían mas o menos ya lo hemos hecho. El análisis de tendencia me permitió decir esto esta cerca del análisis teórico y cuán cerca esta.

*Las decisión que se tomaba en este proceso de análisis ¿era por qué?*

En mi la curiosidad, pero alimentada por como se comporta la física ene se campo, déjame ver como se acomodo esos datos para ver tal cosa, según el MT y lo leído.

*No es al libre albedrío*

No creo, tal vez al principio, pero al ver la curiosidad ya se elimina, pues quiero ver como se comportan, entonces tengo que trabajarlos para ver que puedo obtener de ellos, eso ya es otra cosa.

*¿Por qué y cuándo conviene hacer mas mediciones?*

Cuando,... considero que cuando los errores son muy grandes, como del 20%, pues ahí pudo haber pasado cualquier cosa, para poder decir que ese numero que obtuve es o no valido. O cuando las condiciones considero que no fueron buenas.

*¿Tiene sentido hacer una sola medida?*

Para nada, por ej. cuando uno hace una sola medida, mas grande es el error; considero que hay que hacer muchas medidas para ver como se comporta y así tener un error aceptable, por que puede ser que no use los lentes y al medida se incorrecta.

*Cuando uno interpreta los resultados, procesados y analizados el modelo ¿se utiliza?*

Debería usarse el MT para comparar, por ej. Yo trate en esas tendencias de comparar el modelo teórico y el experimental, y para emitir las conclusiones, por que para eso esta ahí, pues no tiene sentido tener un montón de teoría que no se utilizará. “Descartando tal cosa esto no sucedió por tal cosa o por lo otro”, es muy necesario para lograr explicaciones.

*Cuando obtiene discrepancias sistemáticas entre lo esperado y lo obtenido, como el caso de los pulsos que siempre el valor exp. era mayor que los valores teóricos ¿qué se hace?*

Yo creo que allí lo mejor es repetir las mediciones, y cuando este seguro de la discrepancia debo tomar la decisión de: este modelo teórico no me explica o este experimento tiene problemas. Ahí tendría que analizar el experimento, las causas, si fueron variables que no considere, si en el procesamiento de las películas ocurrió algo, en fin muchas posibles elementos.

*Usamos la V...*

Al principio estaba superenredado en la V, en mi mente no tenía lógica, pues tenía un conjunto de estructuras que se entrelazaban pero de manera no definida, a veces era con la anterior o con la tres anteriores o solo con la primero, y eso me produjo ruido. Luego en el segundo trabajo, trate de ver la esencia de la V y colocarle cosas más, por ej. en la V no hay una parte donde diga hipótesis, hay que incluirlas, así la V me pareció flexible pues puedo meterle cosas según el trabajo, ahí considero que la V me permito unificar la parte exp. con la teórica.

*Su uso fue fundamentalmente para el informe*

No, fue también para entender, para comprender como hacia los procesos, aunque estos procesos son muy dispersos la V me permitía ordenar mis ideas tanto para mi y como para presentarlo en el informe para otros. Me sirvió como herramienta durante el proceso, pues yo hago el experimento y veo que lo teórico no se corresponde, pues esa secuencia de la V es útil para revisar el trabajo.

*¿Y El Lab III comparado con otros laboratorios?*

El lab II sobre todo no se trabajo con esta metodología de crear las preguntas. Hacíamos un seminario, una exposición del planteamiento teórico, no hacíamos estimaciones, nada de eso; solo estudiábamos la teoría y luego hacíamos el experimento tal cual receta, hagan esto, hagan esto, y ya.

En lab III, no se presentaban preguntas concretas, estudiábamos la teoría y según él decíamos 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 planteo, si tenemos esto y esto ¿que deberíamos obtener? ¿que estimamos? Nunca hubo una pregunta, una motivación para lo que íbamos a hacer.

Hacer esto, plantearse las preguntas, hace que sea significativo; la pregunta es relevante pues así yo tengo que hacer lo necesario para buscar resolver ese pregunta.

FIN

## **ESTUDIANTE E5Y**

*¿Como ves tu la razón de ser de lo modelos en el trabajo experimental?*

Yo lo veo como una forma de tener un fundamento saber a donde llegar que contrastar, pues si no tengo un modelo no sabría de donde partir, es como tirando a pegar.

*¿Y si el fenómeno es novedoso?*

Habría que producir un modelo, lo que se supone que debería de ser, se harían experiencias para encontrar un patrón y se construiría un modelo. Uno puede tener una hipótesis, pero eso no es el modelo, después de las experiencias y contrastar con otras personas.

*Y entre las preguntas y el modelo, ¿qué relación encuentras?*

En el primer trabajo no las tome en cuenta, y después me di cuenta que cuando nos enfocamos en las preguntas no me perdía en el camino, ya sabía hacia donde tenía ir, cuando se planteaban las preguntas yo sabía adonde quería llegar, si me desviaba lo que hacia era ver las preguntas y en función de ellas buscaba de la teoría que cosas me servían para responderlas y que cosas experimentales se podían montar fundamentadas en el MT para responder a las preguntas. En el primer lab no las tome en serio y después me di cuenta de porque no me funcionaba como yo quería. Pero en el 2do y en el 3ro me ayudaron mucho.

*¿Y entre las preguntas y el diseño?*

Tenia las preguntas, pensaba que cosas se podían montar para responderlas después veía si tenía los materiales para ese montaje o si con ese montaje podía responder las preguntas auxiliares con las que podía responder a las preguntas principales. Las preguntas acotan el montaje experimental, pues no me sirva de nada montar algo si no ayudan a responder las preguntas.

*¿Cuando uno va a hacer el diseño que cosas toma en cuenta?*

Las variables, independiente, dependiente, ah..., las controladas, si esto lo controlo, si puedo, si la variable es independiente la manipulo ¿como?, si los aparatos cubren con la expectativa de lo que necesito medir. Yo hacia muchas tablitas, una tablita con la variables, una tablita con las cosas que no puedo controlar. Si la precisión del instrumento era apropiada con lo que quería medir.

*¿Había cosas en el diseño que tenían que ver con el modelo?*

Es que prácticamente uno veía el modelo e intentaba pensar similar a como pensaban cuando lo construyeron y atendiendo a lo que se le presentara uno buscaba hacer el mismo experimento que pudieron haber realizado con todos los equipos, claro con las limitaciones que uno tenía, pero manteniendo el enfoque.

*¿Que papel tenían los errores?*

Primero en el lab. 1 nunca le preste atención a los errores, las cosas me daban, en el dos aprendí a darle valor a los errores y en el 3 me di cuenta que eran importantes, y ahí fue que tuve que copiar de nuevo el material de los laboratorios anteriores sobre errores y propagación y estudiarlo de nuevo. Por que ahí fue que cuando no me daba una medida decía porque. Y claro al considerar el error relativo podía establecer comparaciones y ver la discrepancia y ver que si daba. Al final no cuadra uno piensa que esta todo malo y con el error uno puede darse cuenta si esta mal o esta dentro del rango. Además, uno podía darse cuenta donde había mayor error y que mediciones debía mejorar, buscando mayor precisión en esa medida.

Lo que pasa es que en los lab anteriores la clase de calculo de errores fue teórica, pero no lo aprendimos como una herramienta del trabajo de lab, no lo apreciaba y por eso no lo ponía en los trabajos de lab. Hasta ahora que me di cuenta de su importancia.

*¿Como crees tu que hace uno en el lab para garantizar que los datos son confiables?*

Datos confiables...Lo comparábamos con el modelo si se aproxima a este o se alejaba, se hacían varias mediciones y uno veía si eran mas o menos..., además disminuíamos los errores. Si tenía una serie de datos y con ellos hacia una tabla y con ellos un grafico

y los superponía con el modelo, si están acotados son confiables, pues se supone que el modelo fue construido de manera muy controlada con muchas experiencias y datos.

*¿Hubo algunos datos que los desechaste?*

Los que me daban ni remotamente parecidos a los esperados, yo siempre trataba de estimar que podría obtener según el modelo, como hipótesis. Y verificaba que no había ningún indicio de error de cálculo o de algo en el experimento que estuviese mal hecho y no podía justificarlo, lo desechaba. En cambio, si me permitía explicar algo en el montaje que lo justificara, a pesar de que no lo esperaba, lo dejaba. Antes de borrarlo lo estudiaba.

*En el caso como por Ej. como con la velocidad de los pulsos, donde las velocidades teóricas y las velocidades experimentales. eran mayores que las*

Yo lo que esperaba era que la velocidad fuera menor, me sorprendió que eran mayores que las teóricas pero la relación entre la dos variables se mantenía la forma (comportamiento), entonces pensé si podría hacer algún ajuste en el experimento y hacia un pulso mas regular, y volví a ver las películas para buscar elementos que pudiera ajustar. Y como el patrón era el mismo no las descartaba, tenia que analizar para poder repetir el experimento con algunos cambios por ej. resortes mas largos, otras.

*En términos de métodos y técnicas ¿qué aprendiste?*

Todo lo que tiene que ver con la computadora, lo del detector de movimiento, aprendí a usar el Excel para muchos mas trabajos, el uso de las películas para esos casos de movimientos que son difíciles de observar. Eso permite hacer mas manipulación del fenómeno.

*¿Es útil hacer varias medidas?*

Si, como no, todas las que se pueden.

*El tipo de problema en el lab son iguales, todos fueron iguales*

Hay distintos enfoques, porque por Ej. En el LAB I era un poco mas de ensayo y error, no tenía seguridad del modelo teórico, hasta que lográbamos verificar el modelo. No estaba la orientación de este, el problema, no sabia lo que buscaba, y por eso perdía mucho tiempo viendo como lo monto, que quiero ver, porque a veces no sabia lo que quería ver.

En el LAB 2, para mi fue distinto porque nos ayudaron mucho los seminarios, allí fue mas bien tapar los vacíos y cuando íbamos a ponerlas en practica, porque era una cosa lo que teníamos de teoría y otra lo que podíamos hacer experimental. Las seminarios fueron de demostraciones en la pizarra. Al final hicimos algunos montajes como: la practica del osciloscopio, el voltímetro, calcular la resistencia, y los seminarios ayudaban. Pero no había problema, había metas: practiquen haciendo estos pasos.

El Lab 3 era de construir y comparar, uno veía el problema pero no sabía que quería estudiar, el proceso era de definir el problema y replantearlo en términos experimentales. Y luego pensar que debo montar para responder o solventar el problema. Este proceso es mas significativo, le queda mas, lo puede reproducir cuando va a trabajar con sus propios estudiantes.

*¿La V de Gowin te ayudo?*

Había leído sobre ella, pero no la había usado. Es útil pues permite darle armonía a todo, lo teórico con lo experimental y todo relacionado con del problema. Pues yo recuerdo laboratorios donde yo obtenía cosas pero que no era para lo que se estaba pidiendo. La V la tenía en la cabeza, y siempre pensaba en cómo cada acción tiene que

ver una con otra, y así yo no me perdía. Yo soy muy visual y lograba armar las piezas que iba produciendo.

#### *La V de Gowin te ayudo en los informes*

Yo siempre hacía una introducción, MT era toda la teoría que había leído, tuviera o no que ver con el experimento. Había un experimentos pero ya. La conclusiones eran solo los datos del laboratorio, no importaba si tenía relación o no con la teoría.

Ahora, todo estaba relacionado y se integraba en función de las preguntas. Siempre que iba a escribir algo en lo metodológico vía si tenía correspondencia con lo teórico y viceversa, y si todo esto estaba enmarcadas en la preguntas, me ayudo a hacer la conclusiones, pues era la integración de lo T con lo E según las preguntas.

### **ESTUDIANTE E4J**

#### *¿Que funciones le ves a usar un modelo en un TL?*

Lo importante de conseguir un MT, es que va a ser nuestra referencia, o sea en base a lo que tenemos vamos a ir viendo si nos esta concordando con la teoría, es como una guía

#### *¿Siempre tendremos un MT?*

Es posible, aunque hay cosas que si pueden estar en la teoría hay otras que me imagino que no se han estudiado antes y uno puede incluir como algo innovador, lo que pasa es que siempre va a estar ligado a la que estamos trabajando.

#### *¿Como ves tu la relación entre las preguntas y el diseño?*

A bueno, es muy lógico que el diseño tiene que llenar las expectativas que una se ha creado, si una hace el diseño es porque ya uno tiene una preguntas que uno quiere responder.

Sin preguntas no tiene sentido. Es como hacer algo de la nada, tratar de responderse a los golpes

#### *¿Que implica hacer el diseño?*

El diseño experimental es para averiguar este..., bueno la investigación en si. Para responder esa preguntas que uno se ha hecho y verificar la parte teórica.

Haría como un modelo, un montaje que respondería o donde estuviesen todas la variables que necesito medir. Por ej. cuando hicimos el primer lab. que fue el que mas nos costo, lo que metíamos era el instrumento, hacíamos un montaje que tuviese medidas las variables que veíamos que estaban dentro de la investigación. Aunque algunas veces algunos instrumentos no funciona para lo que queremos.

#### *¿Implica solo medir variables?*

Medir variables en función de las preguntas que nos hemos planteado.

#### *Cuando uno hace las medidas se habla de estimaciones, errores ¿para qué?*

Para aproximarse mas a la realidad, hay una cantidad de errores que al principio parece no tener mucha influencia en el fenómeno, pero después que vemos esos errores al final puede influir bastante en los resultados. Entonces es como si los resultados no se están aproximando mucho a la teoría, podemos como que ver en que estamos fallando y en eso pueden ser los errores.

#### *Si no nos aproximamos a los valores ¿que pensamos al respecto?*

Yo pensaría que hay unas variables intervinientes que no estamos tomando en cuenta. Hay que revisar el diseño hay que ver si él esta acorde a lo que queremos medir, a lo que tenemos de referencia. Bueno y también ver si esos errores influyen en algo.

*Cuando se establece el diseño ¿ las variables intervinientes las toma en cuenta?*

Si, uno debería tomarlas en cuenta para controlarlas y aproximarnos mas a lo que queremos, tratar de inmovilizarlas, tenerlas bien en cuenta que no nos vayan a estropear el experimento

*¿Cómo saber que los datos que hemos recogido y el experimento es confiable?*

Es bueno hacer varias medidas, ver si esas medidas están concordando con las que hemos realizado y si a la vez están concordando con la teoría. Si es así vamos por un buen camino

*¿Qué procedimientos de medición aprendiste en el curso?*

Bueno utilizamos una cantidad de instrumentos que nunca pensé que se podía. Lo del detector del movimiento, lo de la computadora y poder medir con el video point me encantó.

*El procesamiento y organización de los datos ¿es libre o esta normado?*

Depende del MT, el diseño teórico eso es esencial, y ahí vemos que cálculos tenemos que hacer. El haber usado el Excel me pareció una herramienta excelente, nos ayudo bastante.

*¿Cuándo se decide hacer mas medidas?*

Si hacemos tres medidas y esta dando muy diferente es preferible hacer mas para ver si entran en un margen aceptable. Y también cuando esta dando poco aproximado al diseño teórico, entonces puede que el diseño experimental tenga algún error.

Si eso continua, es que esta sucediendo un fenómeno que no estamos tomando en cuenta en el modelo. Como en el caso de la barra que para longitudes pequeñas que daba algo diferente, empezamos a pensar en lo que puede estar pasando

*¿Que problemas se abordan en un lab?*

Desde el lado científico, me parece que son inquietudes del científico, él va al laboratorio para ver si funciona como él lo esta pensando, él esta estudiando algo, y con el diseño teórico el se va creando algo, un fenómeno que el se imagina y va al laboratorio para ver si hay concordancia.

En el lab educativo yo veo que lo hacemos como para ver si la teoría se esta cumpliendo, como para convencernos que eso funciona así.

*Y si en el lab educativo algo no funciona como esperábamos, ¿como en el lab I?*

Hay que ver esas variables intervinientes y otras cosas que no hemos tomado en cuenta para guiarnos.

*¿Te parece que vale la pena que ocurran cosas como la del lab I?*

Es importante pues eso nos crea mas inquietudes, nos abre esa curiosidad y nos pone a buscar a buscar como detectives para ver que hayamos.

*Al hacer el ajuste de tendencia ¿que consideraciones tomamos?*

Tomamos mucho el % de ajuste de esa curva, el coeficiente de correlación, la ec. de esa curva de ajuste se comparaba con la del diseño teórico. El ajuste se hace guiado por lo que la teoría nos esta diciendo, por algunas ideas previa que tenemos acerca del fenómeno.

*¿Qué función tiene el proceso de análisis?*

Se ve lo que hemos calculado, si los resultados se parecen o no a los esperados, por ejm al determinar la velocidad del sonido, si no nos da lo que esta en tablas, hay algo en que no nos hemos fijado. Si hay discrepancia, si es poca es probable que se pueda

explicar por lo errores, si es mucha hay que revisar el procedimiento y si aún es mucha a lo mejor es que estamos encontrando algo nuevo.

*Por ejm en el caso de las velocidades de los pulsos encontramos diferencias entre los valores teóricos y los experimentales ¿qué debíamos haber hecho?*

Debimos haber controlado algunas variables intervinientes que pudieran estar afectando y repetir el experimento.

*Usamos la V de Gowin como guía, ¿te sirvió?*

Si vale la pena, se ve como una secuencia del trabajo. Uno va viendo el proceso, creo que no se escapa nada de allí. El que lea el informe puede ver con claridad el proceso, no creo que se pierda.

Me ayudo en la estructura del informe me ayudo a precisar lo que tenía que comunicar. Antes colocaba las teorías y luego escribía el diseño en base a esas teorías y luego los datos y los cálculos, y al final era mas fácil llegar a las conclusiones.

Los informes tradicionales se escapan muchas cosas que en la V se toman en cuenta, por ejm la parte de las preguntas no esta explicito uno va a medir algo y ya, no hay un porque, no se tiene meta. En el tradicional, las interrogantes están impuestas pero no se ven en el informe, uno va hacer algo establecido y ya, con un único fin

*Comparando este lab con los anteriores, ¿que diferencias encuentras?*

En los lab anteriores se hace un seminario del tema al comienzo y luego vamos a contrastar eso, las preguntas ya están como , puestas, y uno va a responder preguntas.

En cambio aquí uno va haciendo interrogantes, hay una discusión al inicio de ahí vamos sacando nuestras interrogantes, nuestras expectativas, además el examencito del principio nos traía mas interrogantes, entonces hizo el trabajo dinámico pues todos teníamos dudas, y compartíamos las diferencias, discutíamos las diferencias, era como jugar al científico. Uno pensaba como hacer esto, pero luego comparábamos con la teoría fue mas interesante, nos creaba mas curiosidad. Lo que hacíamos era investigar e investigar.

La parte de hacernos tantas interrogantes, nos llevaba mucho tiempo, como que nos volvíamos como locos con tantas cosas que pensábamos, tal vez eso nos privó de hacer mas experimentos en el curso.

De no haber dedicado tiempo a esto no hubiésemos adquirido el aprendizaje que alcanzamos.

*¿Que crees que aprendiste en este lab?*

Lo que mas me gusto fueron los procedimientos para medir con el computador y el uso del programa de calculo.

Ahora mis informes son mejores, antes mis informes eran antes como los de secundaria. La V la use para redactar el proyecto del curso de proyecto de investigación.

## **ESTUDIANTE E1C**

*¿Qué crees que aprendiste en este lab?*

En este laboratorio, me pareció bastante bueno. Y el análisis de lo teórico y en el montaje experimental ante todo, nos dio la oportunidad de que trabajáramos juntos y comparar los resultados hacer un informe bastante integrado, que me pareció bastante bien. Ya sea por la cercanía entre todos, y por que esto y como lo hiciste tu y bueno. Así fue todo el tiempo, discutíamos las cosas, llegamos a.. , como dijera, al

planteamiento de las posibles soluciones todo el tiempo. No aparecía nada por arte de magia.

Las simulaciones o representaciones traían a nosotros algún modelo y las películas permitían que podíamos repetir el fenómeno muchas veces, retroceder y podía hacer una observación bastante cuidadosa, pues podíamos ver punto a punto lo que pasaba en el tiempo, no como antes que había que retener la imagen del resorte.

NOTA: La primera cinta de éste audio se deterioró y no se pudo transcribir la entrevista.
---

**A N E X O S**

**DEL**

**CAPÍTULO 9**

sANEXO 9-A

**INSTRUMENTO CONCEPCIONES DE LOS ESTUDIANTES  
ACERCA DE LA ACTIVIDAD EXPERIMENTAL EN LA FÍSICA,  
CAEF, VERSIÓN PREGUNTA ABIERTA**

---



Este cuestionario forma parte de una investigación educativa; tiene como finalidad indagar acerca de las concepciones de los estudiantes acerca de aspectos asociados con la actividad experimental en la ciencia.

El cuestionario consta de tres partes, cada una de ellas tiene un conjunto de preguntas abiertas con el fin de que expresas libremente tu opinión. Las respuestas no son correctas ni incorrectas.

*Es importante que en cada pregunta nos escribas con sinceridad lo que piensas.*

Gracias por tu colaboración,

*Las investigadoras*

***Instrumento “CONCEPCIONES ACERCA DE LA ACTIVIDAD EXPERIMENTAL  
EN LA FÍSICA” CAEF***

Nombre: \_\_\_\_\_

Universidad: \_\_\_\_\_

Carrera que estudia: \_\_\_\_\_

Número de cursos de laboratorio de física aprobados: \_\_\_\_\_

Número de cursos de laboratorio de otra disciplina de ciencia experimental aprobados: \_\_\_\_\_

Número de créditos de la carrera aprobados \_\_\_\_\_

Si aprobaste uno o más cursos de laboratorio de física, describe brevemente cómo fue el trabajo que realizaste en ellos (si participaste en cursos de estilo diferente descríbelos por separado):

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

## PARTE I

A continuación encontrarás el resumen de un trabajo presentado en un seminario de física; estos seminarios son realizados periódicamente por los grupos de investigación de dos centros de física.

Lee el resumen y responde a las preguntas dadas a continuación. Las preguntas no se refieren al contenido, sino al proceso.

### **“Caracterización óptica de películas de un material X soportadas sobre vidrio”**

“Se estudia la aplicación de las ecuaciones para la transmisión y reflexión de luz polarizada a través de un sistema, formado por una película delgada entre dos medios semi-infinitos. Se describen diversas correcciones que se introducen para tomar en cuenta la dependencia del índice de refracción con el ancho de la película y con la longitud de onda. Se ilustra la aplicación de la transformada de Kramers-Krönig para la derivación de la parte real del índice de refracción y una metodología para su implementación. Se efectúan experimentos de reflectancia a incidencia normal para determinar la validez de las diferentes aproximaciones y se caracterizan películas de material X mediante la obtención de sus constantes ópticas.”

**A)** ¿Cuales consideras que fueron los propósitos del trabajo experimental descrito en el resumen?

**B)** ¿De dónde pudo haber surgido la idea del trabajo experimental descrito en el resumen?

C) ¿De qué manera se relacionan la teoría y el experimento en el trabajo descrito en el resumen?

D) En tu opinión, ¿cuáles son las intenciones de estos investigadores al realizar los seminarios?

E) **Referido a otros trabajos de Física** ¿consideras que el trabajo experimental puede tener otros propósitos?

Si \_\_\_\_\_

No \_\_\_\_\_.

Argumenta y Describe algunos

Argumenta tu decisión.

--	--

**F)** ¿Piensas que en todos los casos la teoría se relaciona con el trabajo experimental de la misma manera que en el caso descrito en el resumen?

Si \_\_\_\_\_

No \_\_\_\_\_.

Argumenta tu decisión.

Argumenta y describe otras formas de relación

--	--

**G)** ¿ Consideras que en las teorías, leyes y modelos desarrolladas por los científicos se realizan cambios?

Si \_\_\_\_\_

No \_\_\_\_\_

¿A qué obedecen los cambios?

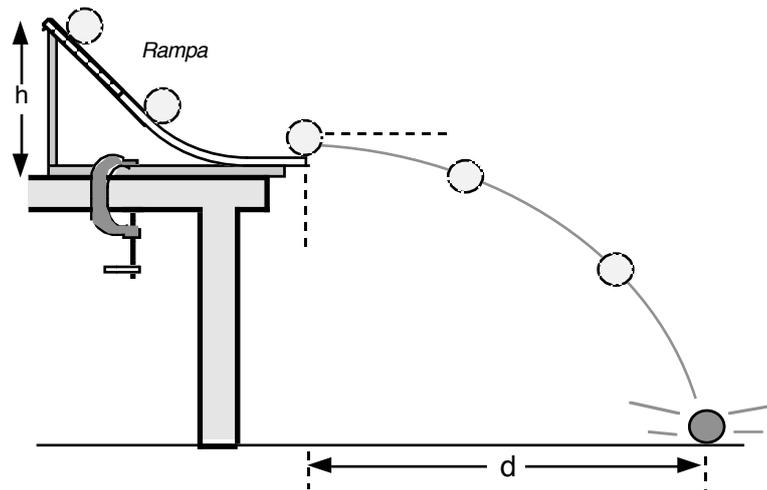
Argumenta tu respuesta.

--	--

## PARTE II<sup>1</sup>

A continuación se presenta una situación experimental que fue propuesta en un curso de laboratorio, donde los estudiantes trabajaban en grupos de tres.

“Se tiene una rampa de madera ajustada al borde una mesa con una pinza como se muestra en el diagrama. Si se deja caer una pelota desde una altura  $h$  respecto de la mesa, la pelota sale de la rampa horizontalmente y choca con el piso a una distancia  $d$  con respecto al borde de la mesa. El objetivo es estudiar cómo cambia la distancia  $d$  con la altura  $h$ .”



A) Si estuvieras en ese curso, ¿cuál sería tu plan de trabajo para lograr el objetivo?

---

<sup>1</sup> Esta parte es una selección adaptada y ampliada del instrumento empleado por Buffler, A; Allie, S.; Lubben, F y Campbell B (2001)

**B)** El grupo de estudiantes A decidió como primera acción, medir la distancia  $d$  para una altura  $h$  de 29cm, obteniendo  $d = 48,5$  cm. En el grupo se da una discusión acerca de qué hacer después; cada uno tiene una sugerencia diferente:

*Estudiante 1:* Nosotros debemos dejar caer la pelota más veces desde la misma altura y medir la distancia para cada caso.

*Estudiante 2:* Nosotros ya tenemos el resultado, está bien, no necesitamos hacer más medidas.

*Estudiante 3:* Nosotros debemos hacer una medida más desde la misma altura.

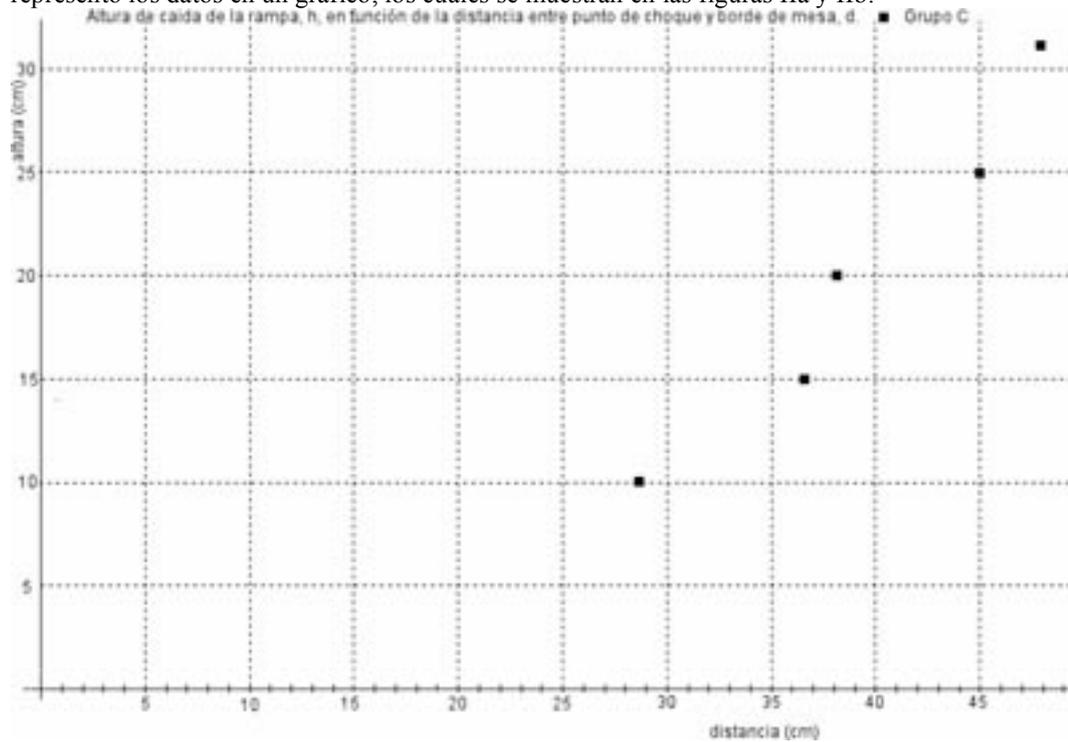
¿Con quién estás de acuerdo? ¿Por qué?

**C)** El grupo de estudiantes B decidió hacer cinco medidas de la distancia  $d$  para una altura  $h$  de 40 cm, obteniendo los siguientes datos:

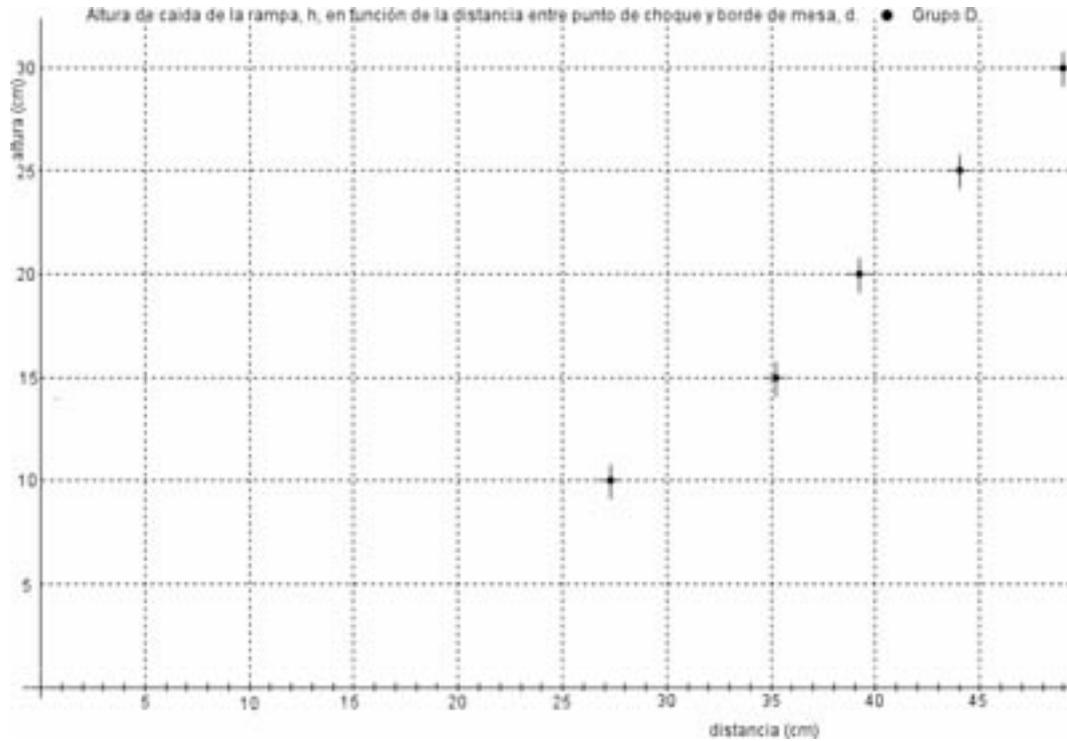
<u>Ensayo</u>	<u>1</u>	<u>2</u>	<u>3</u>	<u>4</u>	<u>5</u>
Distancia(cm)	48.0	49.0	49.5	47,5	47.0

¿Cómo presentarías el resultado si fueses miembro del grupo?

D) Los grupos C y D decidieron hacer medidas de distancia  $d$  para diferentes alturas  $h$ . Cada grupo representó los datos en un gráfico, los cuales se muestran en las figuras IIa y IIb.



**Figura IIa.** Gráfico de  $h: f(d)$  del grupo C.



**Figura IIb.** Gráfico de  $h: f(d)$  del grupo D

**D.1** Indica lo que debería hacer cada grupo para **interpretar** los datos a fin de lograr el objetivo.

Grupo C	Grupo D

**D.2** Alguien propone que los grupos C y D comparen y discutan sus resultados ¿qué opinas de esta sugerencia?

## PARTE III<sup>2</sup>

A continuación se presenta información relacionada con un trabajo de dos grupos de física.

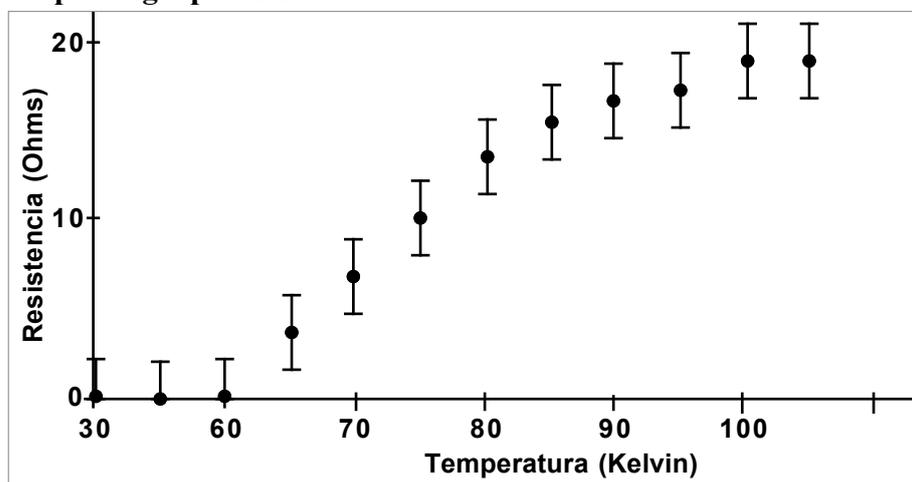
Lee cuidadosamente cada sección y contesta las preguntas que se formulan.

### Sección III.1

“ Los superconductores son materiales muy especiales, sus propiedades permiten suponer que es posible transferir electricidad con una reducción significativa en el consumo de la energía, debido a que estos materiales tienen resistencia cero a la electricidad a temperaturas bajas.

Existen varios grupos en el mundo que están investigando las propiedades de un nuevo superconductor, el cual se puede usar para transportar electricidad. Uno de estos grupos –el grupo JOULE- ha hecho mediciones de la resistencia eléctrica de este superconductor mientras cambia la temperatura. El experimento del grupo JOULE se ejecutó bajo condiciones cuidadosamente controladas, así otros científicos han podido repetir las medidas en sus propios laboratorios y encontrar resultados similares. Los datos del grupo JOULE se muestran en el gráfico 1”

**Grafico 1. Resistencia eléctrica del superconductor en función de la temperatura, datos colectados por el grupo JOULE.**



A) ¿Qué podría hacer el grupo JOULE para **interpretar** estos datos?

*Acciones que pueden realizar*

*Intención de cada acción*

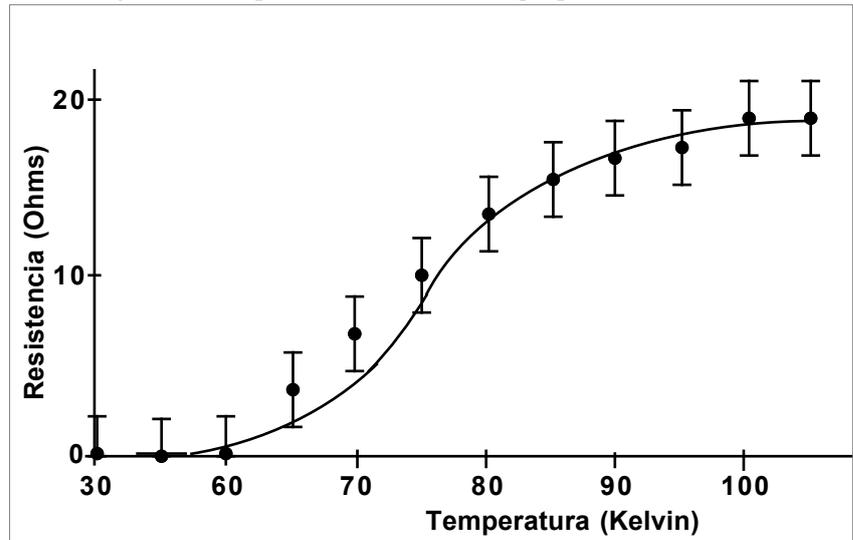
1.	1.
----	----

<sup>2</sup> Adaptación de la pregunta empleada por Ryder y Leach (2000)

### Sección III.2

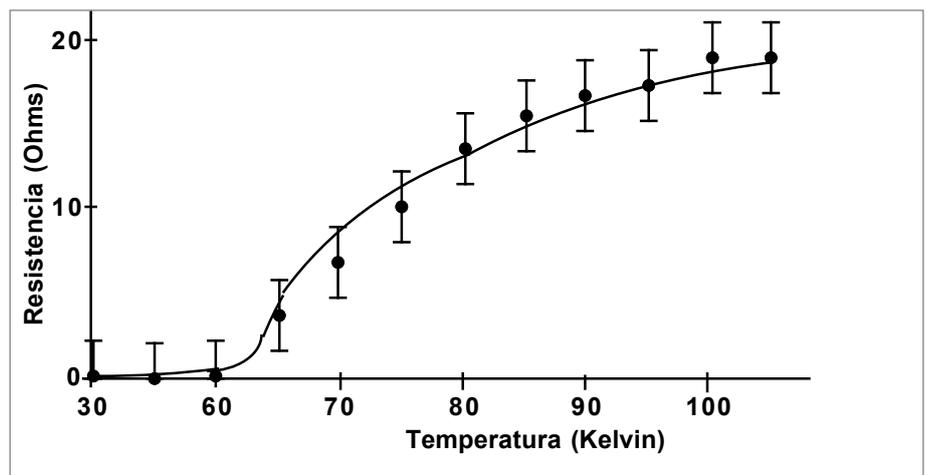
“En una conferencia internacional el grupo JOULE se encontró con otros grupos de investigación para discutir el análisis e interpretación de estos datos. El grupo JOULE tiene un modelo teórico de superconductividad para explicar la caída en la resistencia eléctrica con la temperatura. Este modelo lleva a una interpretación de los datos obtenidos que es mostrada con la línea continua superpuesta a los datos experimentales, en el gráfico 2.

**Grafico 2. Interpretación de los datos, grupo JOULE.**



**Grafico 3. Interpretación del grupo WATT, de los datos del grupo JOULE.**

“Otro grupo, el WATT, ha desarrollado un modelo teórico de superconductividad diferente. El modelo de WATT lleva a una interpretación de los datos obtenidos por el grupo JOULE, que es mostrada con la línea continua en el gráfico 3”



**B) ¿Qué opinas acerca de estas dos interpretaciones de los datos?**

### Sección III. 3

Los científicos congregados en la conferencia ahora tienen que decidir cuáles serán las próximas acciones. Las sugerencias propuestas por ellos se listan a continuación.

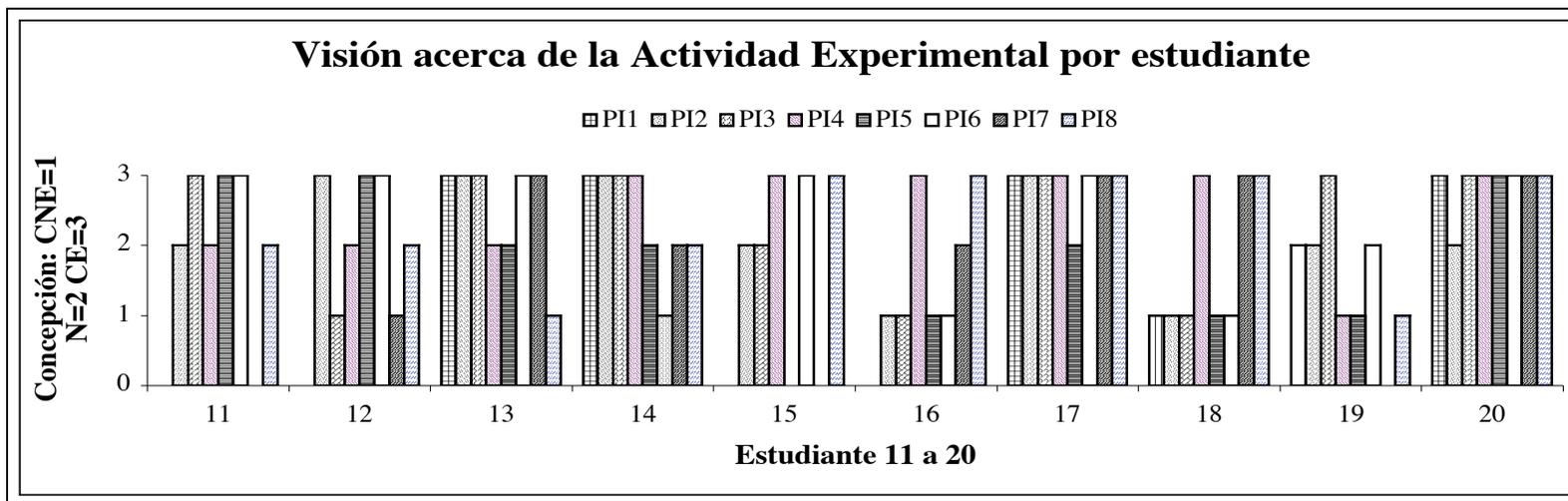
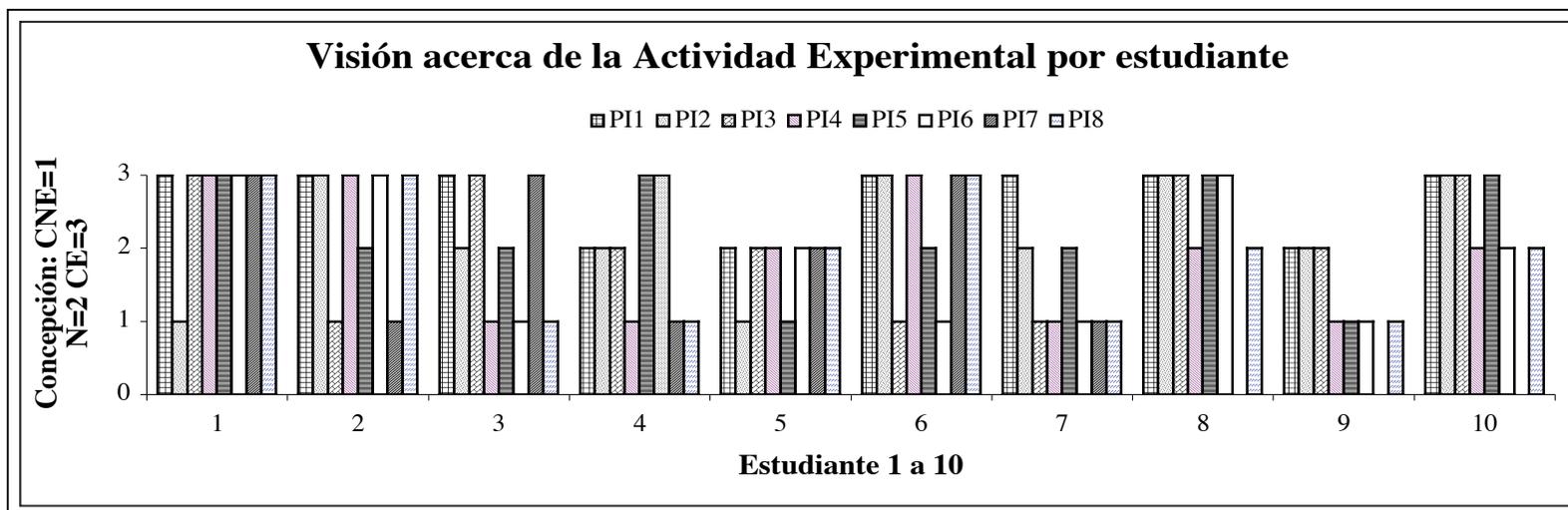
**C. Analiza cada sugerencia y expresa tu opinión justificada al respecto.**

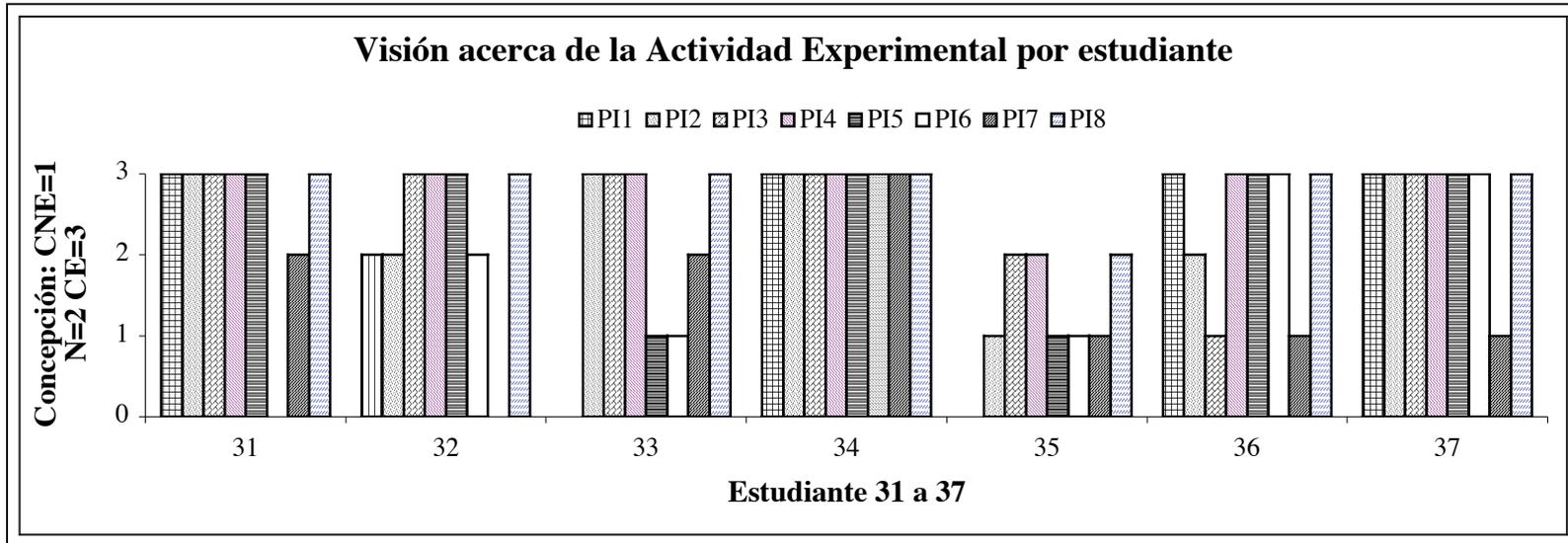
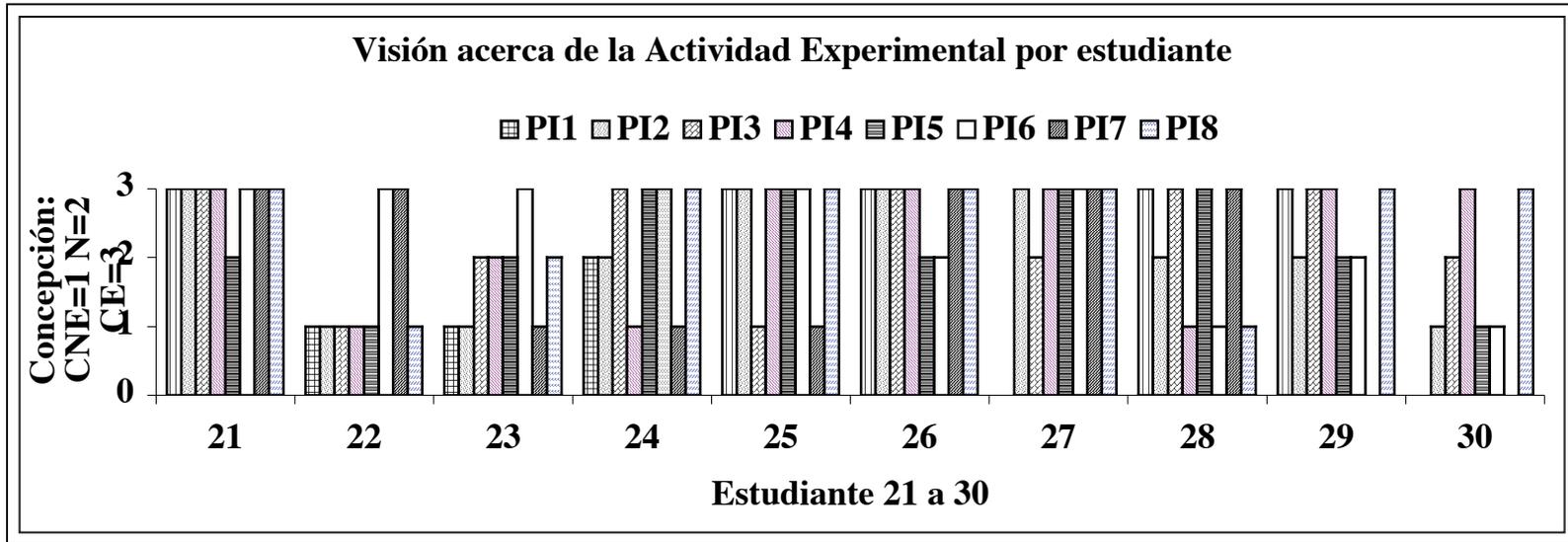
<i>Sugerencia de acción</i>	<i>Acuerdo</i>	<i>Desacuerdo</i>	<i>Neutro</i>	<i>Opinión justificada</i>
1 Bosquejar una conclusión basada en los datos disponibles, considerando que el grupo JOULE los ha interpretado correctamente.				
2 Bosquejar una conclusión basada en los datos disponibles, considerando que el grupo WATT los ha interpretado correctamente.				
3 Coleccionar más datos para demostrar más allá de la duda razonable que el grupo está en lo correcto.				
4 Reducir los errores en las medidas para demostrar más allá de duda razonable que el modelo da la mejor interpretación.				
5 Antes de decidir qué hacer es necesario un análisis de los modelos propuestos por los dos grupos.				
6 Ninguno de los dos grupos ha logrado explicar los datos correctamente. Hay que extraer de los datos otra interpretación.				
7 Los científicos aceptan que puede haber más de una interpretación de estos datos. No hay manera de encontrar cuál es la interpretación correcta.				

**GRACIAS POR TU TIEMPO**

## ANEXO 9-B

**GRAFICA DE VISIÓN ACERCA DE LA ACTIVIDAD EXPERIMENTAL DE CADA ESTUDIANTE EN ATENCIÓN A LAS OCHO PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN, SEGÚN LOS RESULTADOS DERIVADOS DEL INSTRUMENTO *CONCEPCIONES ACERCA DE LA ACTIVIDAD EXPERIMENTAL EN LA FÍSICA (CAEF)* (N:37)**





## ANEXO 9-C

### SISTEMA DE CATEGORÍAS DE RESPUESTA

#### INSTRUMENTO: *CONCEPCIONES DE LOS ESTUDIANTES ACERCA DE LA ACTIVIDAD EXPERIMENTAL EN LA FÍSICA (CAEF)*

#### PARTE I

A) ¿Cuales consideras que fueron los propósitos del trabajo experimental descrito en el resumen?

	<b>Categorías</b>	<b>Calif.</b>
1	Caracterizar o determinar propiedades de un material (películas) tomando como base el modelo. Obtener aproximaciones de constantes	CNE
2	Determinar la validez de las aproximaciones, las leyes o las ecuaciones.	CNE
3	Comprobar hipótesis derivadas del modelo y efectuar correcciones a éste	CNE
4	Verificar que tan óptimas son las ecuaciones.	CE
5	Énfasis en observar el fenómeno	CE
6	Estudiar o aplicar las ecuaciones	N
7	Determinar una metodología para aplicar las ecuaciones.	N
8	Énfasis en lo tecnológico.	N
9	Estudiar relaciones	N

B) ¿De dónde pudo haber surgido la idea del trabajo experimental descrito en el resumen?

	<b>Categorías</b>	<b>Calif.</b>
1	Inquietud por conocer, descubrir, demostrar ecuaciones, demostrar avance teórico	CE
2	Necesidad de validar una teoría o ley	CE
3	Curiosidad	CNE
4	Necesidad de mejorar la calidad de vida	CNE
5	Necesidad del investigador	CNE
6	Derivado del análisis de la teoría o de algún modelo	N
7	Observaciones. Estudios previos	N
8	Resultados derivados de otros campos	N

C) ¿De qué manera se relacionan la teoría y el experimento en el trabajo descrito en el resumen?

	<b>Categorías</b>	<b>Calif.</b>
1	Con los experimentos se construye o se demuestra (comprueba o verifica) la teoría	CE
2	El trabajo experimental depende de la existencia de una teoría	CE
3	El experimento aporta metodología para implementar la teoría	CE
4	La teoría es para interpretar resultados experimentales	CNE
5	Los resultados de la teoría se comparan o contrastan con los experimentales	CNE
6	Existe una relación de apoyo bidireccional entre Teoría y Experimento	CNE
7	Los experimentos son aplicaciones de la teoría	N

D) En tu opinión, ¿cuáles son las intenciones de estos investigadores al realizar los seminarios?

	<b>Categorías</b>	<b>Calif.</b>
1	Dar a conocer, mostrar. Informar, explicar el trabajo y los resultados	CE
2	Demostrar lo correcto. Comprobar teorías	CE
3	Buscar opiniones; aceptar sugerencias y recomendaciones; mejorar procesos	CNE
4	Difundir el trabajo con intención de mejorarlo	CNE
5	Colaborar con el descubrimiento de nuevas cosas. Aportar conocimientos nuevos	N

E) **Referido a otros trabajos de Física** ¿consideras que el trabajo experimental puede tener otros propósitos?

	<b>Categorías entre los argumentos</b>	<b>Si No</b>	<b>Calif.</b>
1	Analizar y comparar resultados con otros trabajos		CNE
2	Contrastar predicciones derivadas de la teoría*		CNE
3	explorar datos casuales para la construcciones de explicaciones y modelos*		CNE
4	Comprobar o refutar teorías, leyes		CE
5	Encontrar o descubrir nuevas leyes o relaciones		CE
6	Propósito educativo: motivar, aplicar la teoría, aprender métodos.		CE
7	Desarrollar avances tecnológicos		N

\* Categorías derivadas de la descripción teórica de la concepción CNE.

F) ¿Piensas que en todos los casos la teoría se relaciona con el trabajo experimental de la misma manera que en el caso descrito en el resumen?

	<b>Categorías entre los argumentos</b>	<b>Calif.</b>
1	La teoría es el referente verdadero para comparar los resultados	CE
2	Los experimentos llevan a cambios en las teorías o demandan nuevos modelos.	CNE
3	Los datos llevan a las teorías o las teorías dependen de los experimentos	CNE
4	La teoría es necesaria para los experimentos	N
5	No toda teoría requiere de experimentación	N
6	Los experimentos son el origen de las leyes	CE

G) ¿ Consideras que en las teorías, leyes y modelos desarrolladas por los científicos se realizan cambios?

	<b>Categorías</b>	<b>Si</b>	<b>No</b>	<b>Clas</b>
1	Válidas para siempre ya que lo establecieron los científicos			CE
2	Crecimiento en lo teórico o lo metodológico			CNE
3	Cuando deja de explicar un fenómeno por avances experimentales (tecnológicos, precisión, otros)			N

## PARTE II

A) Si estuvieras en ese curso, ¿cuál sería tu plan de trabajo para lograr el objetivo?

ELEMENTO	Código	Categoría: Descripción de la Acción	Calificación
I Medición	A.1	Señala qué medir (pares de h y d)	CE
	A.2	Señala qué medir indicando variables y su rol	CNE
	A.3	Señala qué indicando variables y su rol, y cómo medir	CNE
	A.4	Toma muchos datos	N
II Rol de la teoría	B.1	Establece o aplica modelo teórico y deriva ecuaciones.	CNE
	B.2	Plantea hipótesis (ecuaciones) derivadas de la teoría	CNE
	B.3	Considera valores teóricos como lo correcto, lo válido	CE
	B.4	Busca en la teoría aportes para el trabajo	CNE
	B.5	Establezco rangos de medidas en atención a estimaciones teóricas	CNE
III Organización y Transformación de los datos	C.1	Indica cómo organizar datos (tablas)	N
	C.2	Decide la organización en función de los objetivos*	CNE
		Plantea la acción de Graficar (y/o las transformaciones de las graficas)	N
	C.4	Plantea transformaciones en función de los modelos*	CNE
IV Análisis y decisiones	E.1	Plantea hipótesis derivadas de los datos medidos	CE
	E.2	Propone cálculos (no señala el origen de las relaciones)	CE
	E.3	Deriva conclusiones de cada par de datos asociados	CE
	E.4	Compara valores experimentales con valores teóricos	CNE
	E.5	Deriva ecuaciones de los datos guiado por el modelo	CNE
	E.6	Observa los datos, para describir (estimar) relaciones	N
	E.7	Revisa la teoría a partir de los datos	CNE

\* Categorías derivadas de la descripción de la concepción CNE

Se categorizan las respuestas con la tabla anterior y se describen las respuestas en función de ello. Luego se clasifican las respuestas según el criterio siguiente:

**Diseño Completo:** Si tiene acciones del elemento I, II y IV. La concepción se determina por el predominio del tipo de acciones evaluadas según las categorías anteriores.

**Diseño Incompleto (CE):** Otras combinaciones de elementos.

B) ¿Con quién estás de acuerdo? ¿Por qué?

	Categorías de argumentos	Acción	Calif.
1	Consideran necesario tomar medidas de más pares h-d para poder estudiar la relación entre ellas	Ninguno	CNE
2	Basta para aplicar la formula	E2	CE
3	Mas exactitud	E1	CNE
4	Disminuir error, mejor resultado, lograr fiabilidad	E1	CNE
5	Es necesario obtener el promedio	E1	CNE
6	Mas precisión	E1	N
7	Asegurarse de la medida correcta elimina equivocaciones o factores extraños	E1 E3	CE

C) ¿Cómo presentarías el resultado si fueses miembro del grupo?

	<b>Categorías</b>	<b>Calif.</b>
1	Sumatoria de los datos	CE
2	Promedio de los datos	CE
3	Promedio y desviación de los datos	CNE
4	Plantea una reorganización física, por ejemplo, la tabla en vertical	CE
5	Realiza una representación gráfica de barras	N

D.1) Indica lo qué deberían hacer cada grupo para **interpretar** los datos a fin de lograr el objetivo?

	<b>Categorías de recomendaciones referidas a la construcción de la gráfica</b>	<b>Calif.</b>
1	Considera el conjunto de datos del grupo D como perfecto o mejor, y propone que el otro grupo se acerque a esto	CE
2	Recomienda al grupo C mostrar errores en la gráfica	N
3	Recomienda al grupo C tomar más datos	N
4	Propone mejoras de estilo en el gráfico	N
<b>Categorías de recomendaciones referidas a la interpretación de la gráfica</b>		
5	Supone una relación (lineal o parabólica) derivada de los datos y calcula la pendiente o establece la relación funcional	CE
6	Establece una relación teórica y analiza la relación funcional entre los datos según este modelo	CNE

D.2) Alguien propone que los grupos C y D comparen y discutan sus resultados ¿qué opinas de esta sugerencia?

	<b>Categorías de opiniones</b>	<b>Calif.</b>
1	Buscar opiniones; aceptar sugerencias, recomendaciones; mejorar procesos, contrastar condiciones. Pluralidad	CNE
2	Discutir para llegar a una conclusión única	CE
3	Discriminar qué grupo fue mejor (mas preciso, correcto) pensado en una solución correcta	CE
4	Discutir contrastando resultados con modelos y llegar a algún consenso pudiendo aceptar varias interpretaciones*	CNE

\* Categoría derivada de la descripción de la concepción CNE

### PARTE III

A) ¿Qué podría hacer el grupo JOULE para **interpretar** estos datos?

Categoría de finalidad de la ACCIÓN		1. Verificar predicciones, sintetizar los datos, ajuste de tendencias, CNE	2. Llegar a conclusiones sobre la relación Resistencia-Temperatura, CE
Categorías de acciones sugeridas	Categ		
1 Establece una relación a partir de los datos en el gráfico	CE		
2 Comparar los datos con una curva teórica que desarrolla	CNE		
3 Compara con resultados de otros grupos*	CNE		
4 Sugerencias de mejora del procedimiento experimental	N		
5 Mejoras en el trazado de gráfica	N		

\* Categoría derivada de la descripción de la concepción CNE

B) ¿Qué opinas acerca de estas dos interpretaciones de los datos?

Categorías de respuestas		Calif.
1 Acepta ambas interpretaciones, no es posible discriminar entre ellas		CNE
2 No es claro quien construyó la mejor curva, sólo es posible diferenciar si analizó con detalle los modelos*		CNE
3 No esta claro quien construyó la mejor curva, solo se podrá discriminar si se recogen más datos*		CE
4 Descalifica a alguno de los dos grupos por considerar que el modelo se ajusta mejor a los datos		CE
5 Propone revisar los dos modelos y experimentos para lograr que sean iguales los resultados.		CE

\* Categoría incorporada del instrumento original<sup>1</sup>

C) Analiza cada sugerencia y expresa tu opinión justificada al respecto.

1. Bosquejar una conclusión, basada en los datos disponibles, considerando que el grupo JOULE los ha explicado correctamente.

Categorías de respuesta		Categ	Acuerdo	Desacuerdo	Indiferente
1 Discernir cuál es la conclusión correcta internamente o con otros trabajos		CE			
2 Hay que comparar antes de descartar alguno		CE			
3 Acepta varias interpretaciones como posibles		CNE			
4 No avala la interpretación o los datos de este grupo		CE			
5 Una conclusión única es necesaria.		CE			

<sup>1</sup> Instrumento diseñado por Ryder y Leach (2000)

2. Bosquejar una conclusión, basada en los datos disponibles considerando que el grupo WATT los ha explicado correctamente

	Categorías de respuesta	Categ	Acuerdo	Desacuerdo	Indiferente
1	Discernir cuál es la correcta internamente o con otros trabajos	CE			
2	Hay que comparar antes de descartar	CE			
3	Acepta varias interpretaciones como posibles	CNE			
4	No avala la interpretación o los datos	CE			

3. Coleccionar más datos para demostrar más allá de la duda razonable qué grupo está en lo correcto

	Categorías de respuesta	Cate	Acuerdo	Desacuerdo	Indiferente
1	Logra más precisión, menor error	N			
2	Demostrar cuál es el resultado correcto	CE			
3	Es mejor para dar respuesta y conclusiones con más profundidad	CE			
4	Lograr que se asemejen los dos grupos	CE			
5	Recoger más datos no elimina la discrepancia entre los modelos y resultados*	CNE			
6	Es posible que las dos interpretaciones sean coherentes*	CNE			

\* Categoría derivada de la descripción de la concepción CNE

4. Reducir los errores en las medidas para demostrar más allá de duda razonable qué modelo da la mejor interpretación

	Categorías de respuesta	Cate	Acuerdo	Desacuerdo	Indiferente
1	Permite ver qué interpretación describe mejor el fenómeno	CNE			
2	No disminuye la discrepancia entre los modelos y los resultados*	CNE			
3	La representación gráfica resultará más válida	CE			
4	Se reducen los factores intervinientes, hay más control.	CE			

\* Categoría derivada de la descripción de la concepción CNE

5. Antes de decidir qué hacer es necesario un análisis de los modelos propuestos por los dos grupos.

	Categorías de respuesta	Cate	Acuerdo	Desacuerdo	Indiferente
1	Saber cuál es más fiable	CNE			
2	Consensuar y validar el o los modelos	CNE			
3	Saber si tienen consistencia lógica con la fenomenología, llegar al modelo correcto	CE			
4	Los modelos son parecidos	N			

6. Ninguno de los dos grupos ha logrado explicar los datos correctamente. Hay que extraer de los datos otra interpretación.

	<i>Categorías de respuesta</i>	<i>Cate</i>	<i>Acuerdo</i>	<i>Desacuerdo</i>	<i>Indiferente</i>
1	Supone una interpretación preestablecida y válida	CE			
2	Considera a las dos interpretaciones correctas, coherentes, validas o lógicas	CE			
3	La decisión es tomada por la comunidad	CNE			

7. Los científicos aceptan que puede haber más de una interpretación de estos datos. No hay manera de encontrar cuál interpretación es la correcta.

	<i>Categorías de respuesta</i>	<i>Cate</i>	<i>Acuerdo</i>	<i>Desacuerdo</i>	<i>Indiferente</i>
1	Valora el consenso y la discusión entre pares para la toma de decisiones	CNE			
2	Debe existir una sola interpretación	CE			
3	Acepta más de una interpretación	CNE			

## ANEXO 9-D

### **INSTRUMENTO *CONCEPCIONES DE LOS ESTUDIANTES* *ACERCA DE LA ACTIVIDAD EXPERIMENTAL EN LA FÍSICA* (CAEF) VERSIÓN PREGUNTA CERRADA**

---

Este cuestionario forma parte de una investigación educativa; tiene como finalidad indagar acerca de las concepciones de los estudiantes acerca de aspectos asociados con la actividad experimental en la ciencia.

El cuestionario consta de tres partes, cada una de ellas contiene un conjunto de preguntas con opciones de respuesta. Estas no son correctas ni incorrectas, sólo se pretende que expresas libremente tu opinión.

*Es importante que en cada pregunta nos escribas con sinceridad lo que piensas.*

Gracias por tu colaboración,

*Investigadoras*

Nombre:

---

Universidad:

---

Carrera que estudia: \_\_\_\_\_

Número de cursos de laboratorio de física aprobados: \_\_\_\_\_

Número de cursos de laboratorio de otra disciplina de ciencia experimental aprobados: \_\_\_\_\_

Número de créditos de la carrera aprobados \_\_\_\_\_

Si aprobaste uno o más cursos de laboratorio de física, describe brevemente cómo fue el trabajo que realizaste en ellos (si participaste en cursos de estilo diferente descríbelos por separado):

## PARTE I

A continuación encontrarás el resumen de un trabajo presentado en un seminario de física; estos seminarios son realizados periódicamente por los grupos de investigación de dos Centros de física.

Lee el resumen y responde a las preguntas formuladas a continuación. Las preguntas no se refieren al contenido, sino al proceso.

**“Caracterización óptica de películas de un material X soportadas sobre vidrio”**

“Se estudia la aplicación de las ecuaciones para la transmisión y reflexión de luz polarizada a través de un sistema, formado por una película delgada entre dos medios semi-infinitos. Se describen diversas correcciones que se introducen para tomar en cuenta la dependencia del índice de refracción con el ancho de la película y con la longitud de onda. Se ilustra la aplicación de la transformada de Kramers-Krönig para la derivación de la parte real del índice de refracción y una metodología para su implementación. Se efectúan experimentos de reflectancia a incidencia normal para determinar la validez de las diferentes aproximaciones y se caracterizan películas de material X mediante la obtención de sus constantes ópticas.”

**A) ¿Cuál de los siguientes propósitos consideras que tiene el trabajo experimental descrito en el resumen? Marca con una X la opción que mejor se ajusta a tu criterio**

Propósito	Marcar
Caracterizar o determinar propiedades de un material (películas; tomando como base el modelo. Obtener aproximaciones de constantes	
Determinar la validez de las aproximaciones, las leyes o las ecuaciones.	
Comprobar hipótesis derivadas del modelo y efectuar correcciones a éste	
Verificar que tan óptimas son las ecuaciones.	
Énfasis en observar el fenómeno	
Estudiar o Aplicar las ecuaciones	
Determinar una metodología para aplicar las ecuaciones.	
Énfasis en lo tecnológico.	
Estudiar de relaciones	

**B)** ¿De dónde pudo haber surgido la idea del trabajo experimental descrito en el resumen? Marca con una X **la opción** que mejor se ajusta a tu criterio

<b>Origen de la idea</b>	<b>Marcar</b>
Inquietud por conocer, descubrir, demostrar ecuaciones, demostrar avance teórico	
Necesidad de validar una teoría o ley	
Curiosidad	
Necesidad de mejorar la calidad de vida	
Necesidad del investigador	
Derivado del análisis de la teoría o modelo	
Derivado de observaciones o estudios previos	
Resultados derivados de otros campos	

**C)** ¿De qué manera se relacionan la teoría y el experimento en el trabajo descrito en el resumen? Marca con una X **la opción** que mejor se ajusta a tu criterio

<b>Relación teoría y experimento</b>	<b>Marcar</b>
Con los experimentos se construye o demuestra (comprueba, o verifica) la teoría	
El trabajo experimental depende de la existencia de una teoría	
El experimento aporta metodología para implementar la teoría	
La teoría es para interpretar resultados experimentales	
Los resultados de la teoría se comparan o contrastan con los experimentales	
Existe una relación bidireccional entre Teoría y Experimento	
Los experimentos son aplicaciones de la teoría	

**D)** En tu opinión, ¿cuáles son las intenciones de estos investigadores al realizar los seminarios? Marca con una X **la opción** que mejor se ajusta a tu criterio

<b>Intenciones</b>	<b>Marcar</b>
Divulgar y explicar el trabajo y los resultados	
Mostrar lo correcto o la comprobación de una teoría	
Buscar opiniones; aceptar sugerencias y recomendaciones; o mejorar procesos	
Difundir el trabajo con intención de mejorarlo	
Colaborar con el descubrimiento de nuevas cosas. Aportar conocimientos nuevos	

**E) Referido a otros trabajos de Física** ¿consideras que el trabajo experimental puede tener otros propósitos? Marca con una X **la opción** que mejor se ajusta a tu criterio

Otros propósitos	Si	No
Analizar y comparar resultados con otros trabajos		
Contrastar predicciones derivadas de la teoría		
Explorar datos casuales para la construcciones de explicaciones y modelos		
Comprobar o refutar teorías, leyes		
Encontrar o descubrir nuevas leyes o relaciones		
Educativo: motivar, aplicar la teoría, aprender métodos.		
Desarrollar avances tecnológicos		

**F) ¿Piensas que en todos los casos la teoría se relaciona con el trabajo experimental de la misma manera que en el caso descrito en el resumen?** Marca con una X **la opción** que mejor se ajusta a tu criterio

Categorías entre los argumentos	Si	No
La teoría es el referente verdadero para comparar los resultados		
Los experimentos llevan a cambios en las teorías o demandan nuevos modelos.		
Los datos llevan a las teorías y las teorías dependen de los experimentos		
La teoría es necesaria para los experimentos		
No toda teoría requiere de experimentación		

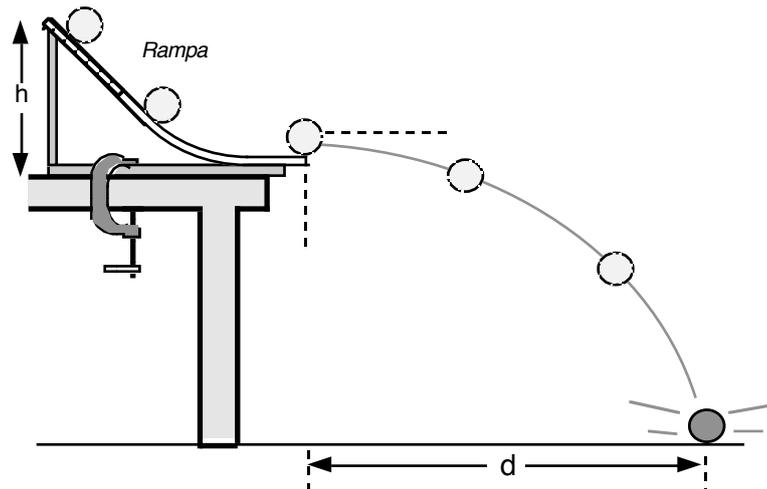
**G) ¿ Consideras que en las teorías, leyes y modelos desarrolladas por los científicos se realizan cambios?** Marca con una X **la opción** que mejor se ajusta a tu criterio

	Si	No
<b>Justificación</b>		
Válidas para siempre ya que los establecieron los científicos		
Crecimiento en lo teórico o lo metodológico		
Cuando deja de explicar un fenómeno por avances experimentales (tecnológicos, precisión, otros)		

## PARTE II<sup>1</sup>

A continuación se presenta una situación experimental que fue propuesta en un curso de laboratorio, donde los estudiantes trabajaban en grupos de tres.

“Se tiene una rampa de madera ajustada al borde una mesa con una pinza como se muestra en el diagrama. Si se deja caer una pelota desde una altura  $h$  respecto de la mesa, la pelota sale de la rampa horizontalmente y choca con el piso a una distancia  $d$  con respecto al borde de la mesa. El objetivo es estudiar cómo cambia la distancia  $d$  con la altura  $h$ .”



<sup>1</sup> Esta parte es una selección adaptada y ampliada del instrumento empleado por Buffler, A; Allie, S.; Lubben, F y Campbell B (2001)

A) Si estuvieras en ese curso, ¿qué acciones de las presentadas a continuación incluirías en tu plan de trabajo? **Escoge aquellas opciones** que estimas corresponden al diseño experimental

Descripción de la Acción	Marcar
Señalo qué medir (un par de h y d)	
Señalo qué medir indicando las variables y su rol	
Señalo qué medir indicando las variables y su rol y cómo medir	
Tomo muchos datos	
Establezco o aplico un modelo teórico y derivo ecuaciones.	
Establezco rangos de medidas en atención a estimaciones teóricas	
Planteo hipótesis (ecuaciones) derivadas de la teoría	
Considero valores teóricos de referencia como lo correcto	
Busco en la teoría aportes para el diseño	
Indico cómo organizar los datos	
Decido la organización en función de los objetivos	
Planteo las gráficas y/o las transformaciones de las gráficas a realizar	
Planteo transformaciones de los datos en función de los modelos	
Planteó hipótesis derivadas de los datos medidos	
Propongo cálculos con los datos	
Derivo conclusiones de cada par h-d medidos	
Comparo valores experimentales con valores teóricos	
Derivo ecuaciones empíricas guiado por el modelo	
Observo los datos y describo relaciones entre ellos	
Reviso la teoría a partir de los datos	

**B).** El grupo de estudiantes A decidió como primera acción, medir la distancia  $d$  para una altura  $h$  de 29cm, obteniendo  $d = 48,5$  cm. En el grupo se da una discusión acerca de qué hacer después; cada uno tiene una sugerencia diferente:

*Estudiante 1:* Nosotros debemos dejar caer la pelota más veces desde la misma altura y medir la distancia para cada caso.

*Estudiante 2:* Nosotros ya tenemos el resultado, está bien, no necesitamos hacer más medidas.

*Estudiante 3:* Nosotros debemos hacer una medida más desde la misma altura.

Selecciona con quién estás de acuerdo? E1: \_\_\_\_ E2: \_\_\_\_ E3: \_\_\_\_ Con ninguno: \_\_\_\_

Selecciona la justificación que mejor se ajuste a tu criterio.

Justificación	Acción
Consideran necesario tomar medidas de más pares $h-d$ para poder estudiar la relación entre ellas	
Basta para aplicar la fórmula	
Más exactitud	
Disminuir el error, mejorar resultado, lograr fiabilidad	
Es necesario obtener el promedio	
Más precisión	
Asegurarse de la medida correcta, eliminando equivocaciones o factores extraños	

**D)** El grupo de estudiantes B decidió hacer cinco medidas de la distancia  $d$  para una altura  $h$  de 40 cm, obteniendo los siguientes datos:

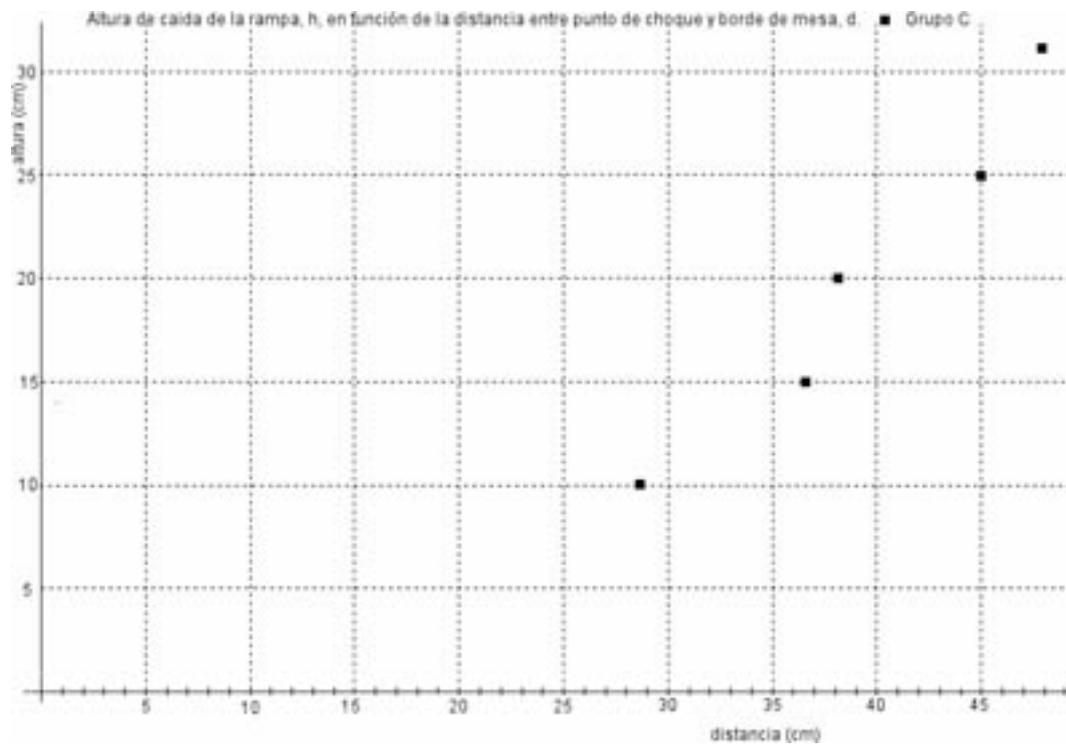
<u>Ensayo</u>	1	2	3	4	5
Distancia(cm)	48.0	49.0	49.5	47,5	47.0

¿Cómo presentarías el resultado si fueses miembro del grupo?

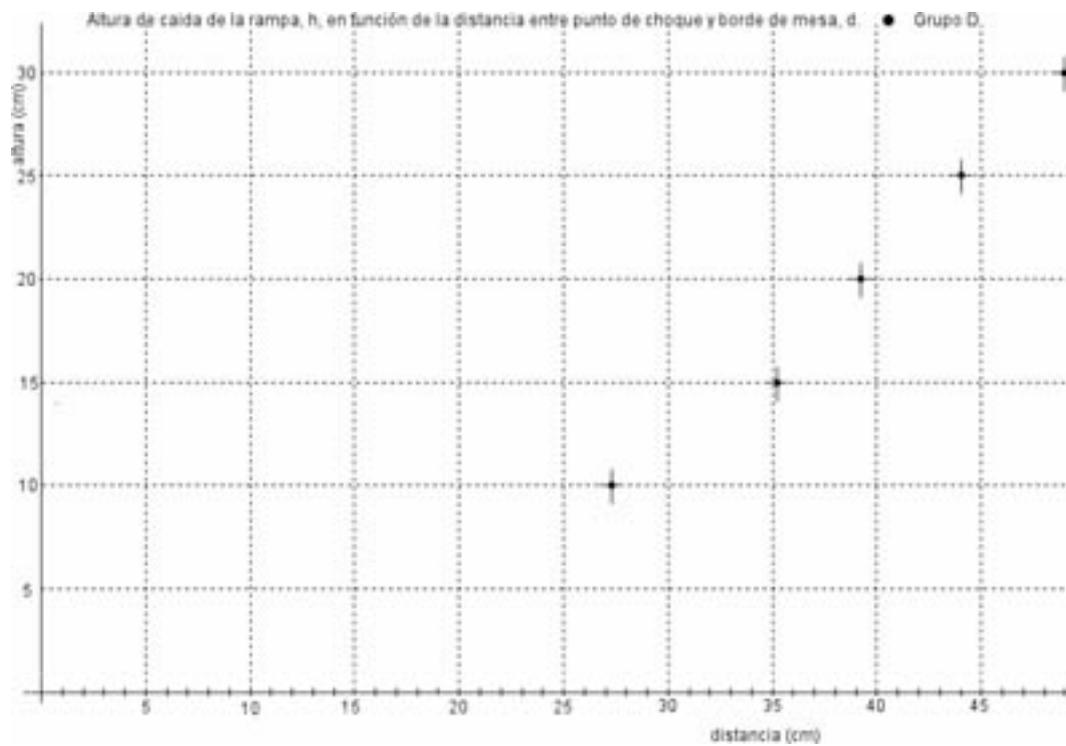
Selecciona una de las opciones que se dan a continuación dadas selecciona

Presentación	Marcar
Sumatoria de los datos	
Promedio de los datos	
Promedio y desviación de los datos	
En una tabla vertical	
Con una representación gráfica de barras	

D) Los grupos C y D decidieron hacer medidas de distancia  $d$  para diferentes alturas  $h$ . Cada grupo representó los datos en un gráfico, los cuales se muestran en las figuras IIa y IIb.



**Figura IIa.** Gráfico de  $h: f(d)$  del grupo C.



**Figura IIb.** Gráfico de  $h: f(d)$  del grupo D

**D.1** Selecciona lo que debería hacer cada grupo para **interpretar** los datos a fin de lograr el objetivo? (Es posible seleccionar varias opciones)

Acciones a seguir para interpretar	Grupo	
	C	D
Considero que el conjunto de datos es perfecto o mejor, propongo que el otro grupo se acerque a este resultado		
Recomiendo mostrar errores en la gráfica		
Recomiendo tomar más datos		
Propongo mejorar la presentación del gráfico		
Supongo una relación (lineal o parabólica) derivada de los datos, y		
Propongo calcular la pendiente o establecer una relación funcional		
Propongo establecer una relación teórica y analizar la relación funcional entre los datos según este modelo		

**D.2** Alguien propone que los grupos C y D comparen y discutan sus resultados ¿Qué razón de las dadas se ajusta mejor a tu criterio?

Razones	Marcar
Buscar opiniones; aceptar sugerencias, recomendaciones; mejorar procesos, contrastar condiciones con el fin de tomar decisiones sobre cada caso.	
Discutir para llegar a una conclusión única	
Discriminar qué grupo fue mejor (más preciso y correcto)	
Discutir contrastando resultados con modelos y llegar a algún consenso pudiendo aceptar varias interpretaciones	

## PARTE III<sup>2</sup>

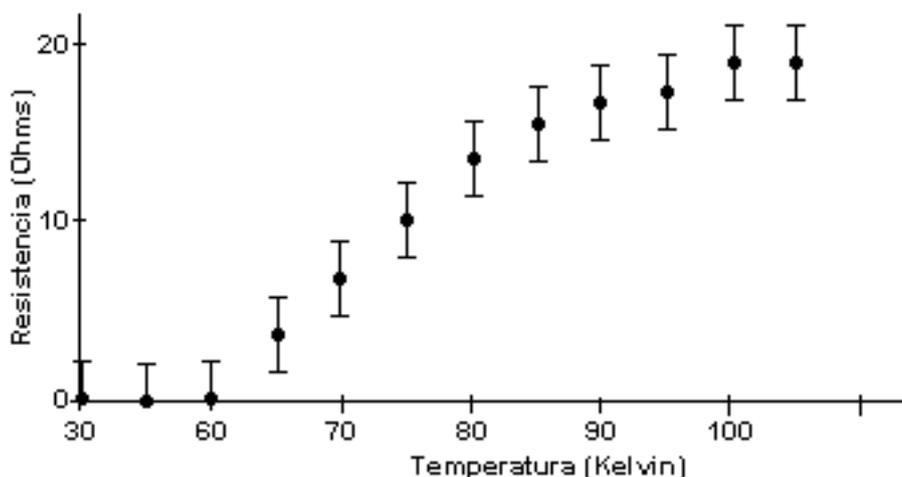
A continuación se presenta información relacionada con un trabajo de dos grupos de física. Lee cuidadosamente las tres secciones y contesta las preguntas que se formulan.

### Sección 2.1

“ Los superconductores son materiales muy especiales, sus propiedades permiten suponer que es posible transferir electricidad con una reducción significativa en el consumo de la energía, debido a que estos materiales tienen resistencia cero a la electricidad a temperaturas bajas.

Existen varios grupos en el mundo que están investigando las propiedades de un nuevo superconductor, el cual se puede usar para transportar electricidad. Uno de estos grupos –el grupo JOULE- ha hecho mediciones de la resistencia eléctrica de este superconductor mientras cambia la temperatura. El experimento del grupo JOULE se ejecutó bajo condiciones cuidadosamente controladas, así otros científicos han podido repetir las medidas en sus propios laboratorios y encontrar resultados similares. Los datos del grupo JOULE se muestran en el gráfico 1”

**Grafico 1. Resistencia eléctrica del superconductor en función de la temperatura, datos colectados por el grupo JOULE.**



1) ¿Qué podría hacer el grupo JOULE para **interpretar** estos datos? Selecciona **una posible acción**, entre las presentadas en el siguiente cuadro:

Acciones	Selección
Establecer una relación a partir de los datos en el gráfico	
Compara los datos con una curva teórica que desarrolla	
Compara con resultados de otros grupos	
Mejorar el procedimiento experimental	
Mejorar el trazado de la gráfica	

<sup>2</sup> Adaptación de la pregunta empleada por Ryder y Leach (2000)

2) ¿Qué opinas acerca de estas dos interpretaciones de los datos que se presentan en las gráficas 2 y 3?

“En una conferencia internacional el grupo JOULE se encontró con otros grupos de investigación para discutir el análisis e interpretación de estos datos. El grupo JOULE tiene un modelo teórico de superconductividad para explicar la caída en la resistencia eléctrica con la temperatura. Este modelo lleva a una interpretación de los datos obtenidos que es mostrada con la línea continua superpuesta a los datos experimentales, en el gráfico 2.

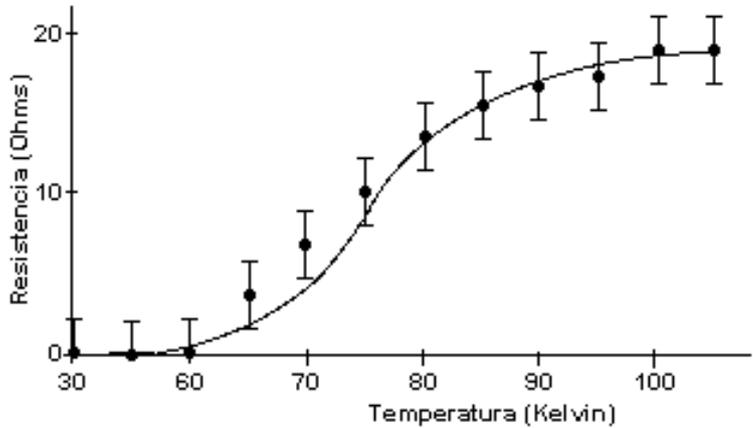


Gráfico 2. Interpretación de los datos, grupo JOULE.

“Otro grupo, el WATT, ha desarrollado un modelo teórico de superconductividad diferente. El modelo de WATT lleva a una interpretación de los datos obtenidos por el grupo JOULE, que es mostrada con la línea continua en el gráfico 3”

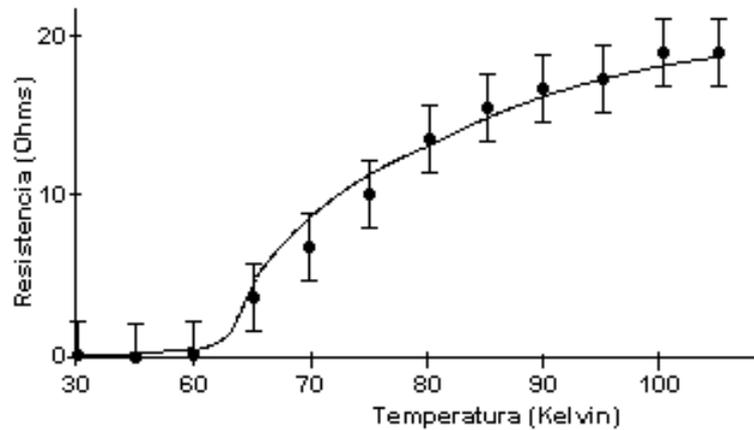


Gráfico 3. Interpretación del grupo WATT, con datos del grupo JOULE.

Selecciona **la opción** que mejor se ajuste a tu criterio

Opinión	Marcar
No estoy de acuerdo con el grupo Joule, su curva no se ajusta bien a los datos	
No estoy de acuerdo con el grupo Watt, su curva no se ajusta bien a los datos	
No está claro quien construyó la mejor línea, solo se podrá discriminar si se recogen más datos	
No está claro quien construyó la mejor curva. Hay que analizar primero los dos modelos.	
Las dos interpretaciones son válidas	
Hay que revisar los dos modelos y experimentos para lograr que sean iguales.	

3) Los científicos congregados en la conferencia ahora tienen que decidir cuáles serán las próximas acciones. Las sugerencias propuestas por ellos se listan a continuación.

Analiza cada sugerencia y expresa tu grado de acuerdo y justificación marcando **una X en cada caso**.

<b>Escala: Acuerdo: A      Desacuerdo: D      Indiferente: I</b>
--

1. Bosquejar una conclusión, basada en los datos disponibles, considerando que el grupo JOULE los ha explicado correctamente.

<b>Justificación</b>	<b>A</b>	<b>D</b>	<b>I</b>
Discernir cuál es la correcta internamente o con otros trabajos			
Hay que comparar primero			
Acepto varias interpretaciones como posibles			
No avalo la interpretación o los datos del grupo Watt			
Una conclusión única es necesaria.			

2. Bosquejar una conclusión basada en los datos disponibles considerando que el grupo WATT los ha explicado correctamente

<b>Justificación</b>	<b>A</b>	<b>D</b>	<b>I</b>
Discernir cuál es la correcta internamente o con otros trabajos			
Hay que comparar primero			
Acepto varias interpretaciones como posibles			
No avalo la interpretación o los datos del grupo Joule			

<b>Escala: Acuerdo: A      Desacuerdo: D      Indiferente: I</b>
--

3. Coleccionar más datos para demostrar más allá de la duda razonable, qué grupo está en lo correcto

<b>Justificación</b>	<b>A</b>	<b>D</b>	<b>I</b>
Se logra mas precisión, menor error			
Hay que demostrar cuál es el correcto			
Es mejor para dar una respuesta, concluir y tener mas profundidad			
Lograr que se asemejen los dos grupos			
Recoger mas datos no elimina la discrepancia entre los modelos y resultados			
Es posible que las dos interpretaciones sean coherentes			

4. Reducir los errores en las medidas para demostrar más allá de duda razonable qué modelo da la mejor interpretación

<b>Justificación</b>	<b>A</b>	<b>D</b>	<b>I</b>
Esto solo permite ver que interpretación describe mejor el fenómeno			
Esto no disminuye la discrepancia entre los modelos y resultados			
De esta forma la representación gráfica es más válida			
Se reducen los factores intervinientes, hay mas control.			

5. Antes de decidir qué hacer es necesario un análisis de los modelos propuestos por los dos grupos.

<b>Justificación</b>	<b>A</b>	<b>D</b>	<b>I</b>
Hay que saber cuál es más fiable			
Es necesario consensuar y validar el o los modelos			
Hay que saber si tienen consistencia lógica con el experimento			
Los modelos son parecidos			

6. Ninguno de los dos grupos ha logrado explicar los datos correctamente. Hay que extraer de los datos otra interpretación

<b>Justificación</b>	<b>A</b>	<b>D</b>	<b>I</b>
Existe una interpretación preestablecida y valida			
Considero a las interpretaciones correctas, coherentes, validas o lógicas			
La decisión es tomada por la comunidad			

<b>Escala: Acuerdo: A      Desacuerdo: D      Indiferente: I</b>
--

7. Los científicos aceptan que puede haber más de una interpretación de estos datos. No hay manera de encontrar que interpretación es la correcta.

<b>Justificación</b>	<b>A</b>	<b>D</b>	<b>I</b>
Valoro el consenso y la discusión entre pares para la toma de decisiones			
Debe existir una sola interpretación			
Acepto que puede existir más de una interpretación			

**GRACIAS POR TU TIEMPO**