

**Conceptos-en-acción y teoremas-en-acción de
estudiantes del Profesorado de Física:
Ondas Mecánicas**

Concepts-in-action y theorems-in-action in students of
Physics Teacher: Mechanical Waves

María Maite Andrés

maitea2006@gmail.com

Universidad Pedagógica Experimental Libertador
Instituto Pedagógico de Caracas

Marta A. Pesa

mpesa@herrera.unt.edu.ar

Universidad Nacional de Tucumán. Argentina

Jesús Meneses V

Universidad de Burgos, España

Resumen.

En este trabajo se presentan los resultados en relación al nivel de desarrollo conceptual de los estudiantes en la temática de ondas mecánicas después de su estudio formal en un curso teórico. El trabajo se fundamentó en el modelo de concepto y esquema conceptual establecido desde la teoría de Campo Conceptuales de Vergnaud (1990). El estudio se llevó a cabo con estudiantes del profesorado de física, en el marco de un curso de laboratorio del Instituto Pedagógico de Caracas. Para la recolección de datos, se aplicaron al inicio de un trabajo de laboratorio sobre el tema, tres cuestionarios y una entrevista colectiva. Los resultados muestran que las concepciones iniciales de los estudiantes presentan dificultades desde la perspectiva de las ideas científicas, las cuales coinciden con otros estudios realizados en el área.

Palabras clave. Desarrollo conceptual; conceptos-en-acción; teoremas-en-acción; ondas mecánicas

ABSTRACT

This article reports the results of the conceptual development on the theoretical domain of the students about mechanical waves. The study was based on the model of concept and scheme from Vergnaud's conceptual fields theory (1990). This study was carried out with students of physics teacher, in a laboratory course at Instituto Pedagógico de Caracas. For the data collection, at the beginning of a laboratory work about the subject, apply three questionnaires and one collective interview. The results show that the students' initial conceptions present difficulties from the perspective of the scientific ideas; these coincide with other studies carried out in the area.

Keywords: *Conceptual development; concepts-in-action; theorems-in-action, mechanical waves*

INTRODUCCIÓN

En esta investigación hemos considerado el trabajo de laboratorio (TL) como una actividad que coloca el énfasis en el aprendizaje del dominio metodológico en una indisoluble y dialéctica interrelación con el dominio teórico considerado para abordar el fenómeno; con lo cual, se promoverá también una evolución en los esquemas conceptuales de los estudiantes acerca de este dominio. Desde la Teoría de Campos Conceptuales (Vergnaud, 1990) se describe el proceso cognitivo durante el desarrollo conceptual de los estudiantes. Esa teoría permite comprender el proceso de elaboración de nuevos esquemas durante la resolución de problemas por parte de los estudiantes. Con este referencial hemos desarrollado una línea de trabajo acerca del TL basado en la resolución de problemas y orientado al desarrollo conceptual de los estudiantes, tanto en lo metodológico como en lo teórico.

En este artículo se reportan las concepciones de los estudiantes en relación al tema de ondas mecánicas (área temática en la cual se inserta la situación de laboratorio), posteriores a su estudio formal en un

curso teórico, y previas a la realización de un trabajo de laboratorio relativo a dicho tópico.

Noción de concepto y esquema desde la Teoría de Campos Conceptuales

En el laboratorio predomina el aprendizaje del dominio metodológico en interrelación indisoluble con algún marco teórico de referencia asociado a la situación planteada. Un experimento u observación experimental es concebido desde algún referente teórico, además, la interpretación de las observaciones sólo es posible desde algún modelo o teoría (Andrés y Pesa, 2003). Los enunciados observacionales no son más que expresiones teóricas, por lo tanto dependen de estas (Chalmers, 1998) Por tal razón, en el contexto de la enseñanza y el aprendizaje durante los trabajos de laboratorio es importante identificar el nivel de desarrollo conceptual de los estudiantes en relación con el tema teórico en el cual se enmarcará dicho experimento.

A fin de comprender la actividad cognitiva de los estudiantes durante el aprendizaje cuando abordan este tipo de tarea (TL), se ha considerado la teoría de Campos Conceptuales (TCC) de Vergnaud (1990). Un aspecto central en esta teoría para que se produzca aprendizaje, es decir, ocurra la construcción significativa de nuevos esquemas, es el enfrentar a los estudiantes ante situaciones novedosas. En este proceso de elaboración pragmática, el desarrollo cognitivo es moldeado por las acciones de los sujetos ante situaciones concretas, y por las conceptualizaciones subyacentes a ellas.

Entre los conceptos básicos de esta teoría se tiene el de Campo Conceptual (CC); el cual se concibe como *“un conjunto informal y heterogéneo de situaciones, conceptos, relaciones, estructuras, .. y operaciones de pensamiento, conectados unos a otros y, probablemente, entrelazados durante el proceso de adquisición”* (Vergnaud, 1982).

En esta teoría, la idea de *concepto* es central y se considera constituido por tres conjuntos: i) las *situaciones* (el referente); ii) los *Invariantes Operatorios (IO)*, *conceptos-en-acción* y *teoremas-en-acción* (el significado); y iii) las *representaciones simbólicas* (lenguaje, gráficos, sentencias formales, diagramas,...) (el significante) que son utilizadas para representar al concepto y sus propiedades en las situaciones, y a los procedimientos de tratamiento (Vergnaud, 1998; Rodríguez y Moreira, 2002)

Una *situación* constituye una tarea compleja (combinación de sub tareas) cuya dificultad depende de la conceptualización requerida para abordarla más que de la cantidad de sub tareas. En cada situación se ponen en acción algunas propiedades (IO) de los conceptos y de los teoremas asociados, dándole sentido a éstos. Dentro de cada CC, las situaciones se pueden agrupar en clases, en función de las propiedades de los conceptos que se requieren para su solución. Es por ello que se requiere un conjunto de clases de situaciones para poner en acción los diferentes aspectos y propiedades característicos del mismo. De ahí que el autor de esta teoría plantea que el desarrollo conceptual es con el sujeto en situación.

En consecuencia, los estudiantes van desarrollando sus esquemas y conceptualizaciones (conocimientos) en la medida que van dominando clases de situaciones, proceso éste lento y complejo con avances y retrocesos (Vergnaud, 1990). En el contexto del aprendizaje en el aula, se torna entonces fundamental identificar el contenido a aprender en términos de CC, y evaluar el nivel de desarrollo de los estudiantes dentro de cada CC, para organizar la enseñanza en torno a situaciones novedosas que le permitan a los estudiantes activar sus conceptualizaciones y a partir de ellas construir nuevos esquemas conceptuales logrando aprendizajes significativos (Caballero, 2003)

Este proceso de aprendizaje frente a situaciones plantea que en principio, los estudiantes perciben la situación con sus esquemas; al no encontrar uno que se ajuste completamente, entran en una fase de reflexión y duda (Vergnaud, 1998)). Así, complementando esta teoría con la de los Modelos Mentales (MM) (Johnson-Laird, 1983) para describir este primer proceso, los estudiantes construyen MM que evolucionan desde el MM_i hasta el MM_n recursivamente (figura 1) produciendo predicciones e inferencias (P_n) hasta alcanzar su funcionalidad, y desechando los MM (Moreira, 2002). Si bien esta familia de MM es transitoria, contienen algunos elementos conceptuales que permanecen, por lo que es probable que sean del tipo invariantes operatorios (IO), los cuales suponemos proceden de esquemas de la memoria a largo plazo que fueron activados por la situación. Los MM con los IO subyacentes, le permiten al solucionador la identificación de la información pertinente al problema y la producción de predicciones e inferencias operativas, con las que generará un plan de acción.

En el ámbito educativo, este proceso puede involucrar: la interacción social con pares, la mediación del docente, la búsqueda de información desde otras fuentes, la realización de observaciones, entre otros; lo que contribuye a precisar, modificar y enriquecer los invariantes operatorios. Desde una perspectiva vigoskiana encontramos que la actividad cognitiva individual resulta de una actividad cognitiva previa en colectivo con la interacción social.

El plan de acción inicial puede contener subtareas que se constituyen en sub problemas para el estudiante, es decir, que resultan en sí mismas una situación problema que demanda una secuencia de acciones particular. Por ello, su abordaje requiere de esquemas, los cuales pueden o no estar completamente desarrollados en su estructura de conocimientos. Si la subtarea resultase una situación problema novedosa, su resolución puede ser descrita mediante un proceso cognitivo similar al presentado en el abordaje de la meta inicial (figura 1)

Así tenemos que en el proceso de una situación de laboratorio novedosa, se activarán IO referidos a diversos campos conceptuales (teórico y metodológico), a partir de los cuales se construyen las soluciones y se van desarrollando esquemas para nuevas clases de situaciones. En este sentido, para mediar el aprendizaje resulta relevante hacer explícitos los IO empleados por los estudiantes frente a las situaciones de laboratorio propuestas, a fin de incidir en la construcción de nuevos significados que se aproximen a los científicos.

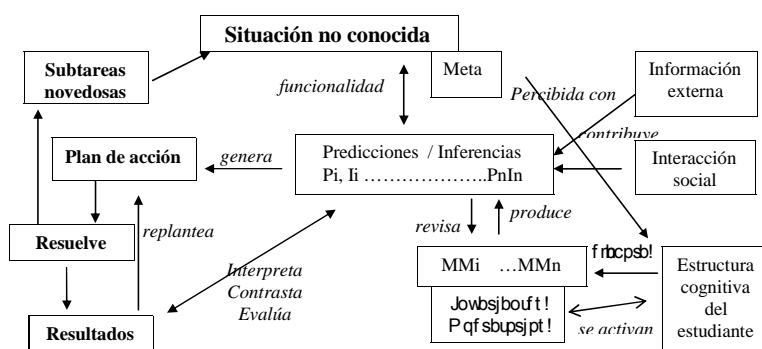


Figura 1. Dinámica de Aprendizaje desde la teoría de Campos Conceptuales.

En este contexto concebimos al TL como una actividad compleja de resolución de tareas, donde intervienen esquemas tanto del dominio teórico al cual refiere la situación, como del dominio metodológico propio del quehacer experimental de la ciencia, ambos en interrelación (Andrés y otros, 2004). Un estudio desarrollado con este referencial, se centró en un TL cuya situación estaba enmarcada en el campo conceptual de *Ondas Mecánicas*. El mismo fue intencionalmente organizado para producir aprendizajes explícitamente declarados, en los dominios metodológico, teórico, y epistemológico, dentro de un curso de laboratorio para estudiantes del profesorado de Física. En este artículo

presentaremos las concepciones iniciales (IO) de los estudiantes en relación con el concepto de ondas con lo cual se identificaron sus dificultades de comprensión. Ello permitió se establecer parte de las metas de aprendizaje para el TL, y en consecuencia, dirigir la intervención que el docente debía realizar durante el TL, considerando la dinámica cognitiva (MATLaF¹).

De estudios previos publicados acerca de las dificultades de comprensión con las ondas mecánicas, desde la perspectiva aceptada en la física, presentamos algunos autores que estudiaron diferentes aspectos acerca de la comprensión de los estudiantes en relación con: naturaleza de las ondas, propagación de ondas y pulsos, superposición de ondas, representación matemática de las ondas, energía en las ondas; los resultados de estos trabajos se resumen en el cuadro 1. En general, los trabajos revisados evidencian dificultades para discriminar entre las variables de velocidad de la onda, frecuencia de la fuente, amplitud de la onda, energía de la fuente, de la onda y de las partículas de medio; no comprender el proceso de transferencia de energía en el medio donde se propaga la onda; conciben a la onda como un objeto que interacciona con la fuente y el medio; mezcla de fenómenos locales (por ejm. movimiento de un elemento de cuerda) con globales (onda).

Cuadro 1. Dificultades conceptuales, desde la perspectiva científica, encontrados en estudios sobre el concepto de Ondas mecánicas.

Autores	Nivel académico	Dificultades conceptuales
Maurines, L (1992)	Secundaria, Universidad	<p>Propagación de pulsos en un medio: <i>la propagación de las Ondas concebidas en términos de fuerzas ejercidas por las manos, depende de la fuente</i> .</p> <p>Relación entre la fuente generadora (mano) del pulso y su propagación: <i>Un cambio en el movimiento de la fuente implica variación en la velocidad del pulso u onda. La amplitud y la velocidad dependen de la fuente. Si desaparece la fuente desaparece la onda.</i></p> <p>Movimiento de un elemento del medio debido a la propagación de la onda: <i>No distingue la fuerza de la fuente de las fuerzas internas en el medio que permiten la propagación.</i></p>
Linder, C. J. 1993	Universidad	<p>Propagación de sonido: <i>algunas moléculas del aire llevan la onda de un lugar a otro mientras que otras se quedan en su región.</i></p> <p><i>La velocidad del sonido depende de la resistencia del medio (noción de colisiones onda -medio)</i></p> <p><i>Confusión entre sinusoides de gráficos posición tiempo y movimiento de la onda sonora</i> .</p>
Wittmann (1998, 2002)	Universidad	<p>Naturaleza de la onda: <i>Onda considerada como objeto que interacciona.</i></p> <p>Relación entre la fuente generadora (mano) del pulso y su propagación: <i>Un cambio en el movimiento de la fuente implica variación en la velocidad del pulso u onda. La amplitud y la velocidad de penden de la fuente.</i></p> <p>Superposición de ondas: <i>Se afectan de manera permanente las propiedades de las ondas al superponerse.</i></p>
Wittmann, Steinberg y Redish, 2001	Universidad	<p>Propagación de ondas sonoras: <i>la onda sonora empuja a las partículas del medio, onda como objeto que interacciona con el medio.</i></p>
Welti, R. (2002)	Universidad, docentes, textos	<p>Energía y ondas armónicas en cuerdas: <i>La energía de cada elemento de cuerda se conserva, energía potencial máxima en la máxima elongación. No pueden interpretar la transferencia de energía de un elemento de cuerda al vecino, ni de la fuente al medio donde se propaga la onda.</i></p>
Bravo y Pesa (2002)	Universitario	<p>Naturaleza de las ondas: <i>el modelo de onda varía según la situación. La amplitud y rapidez de la onda depende del movimiento que se haga con la mano (modelos preceptuales o causales ingenuos)</i></p>
Bravo y Pesa (2004)	Universitario	<p>Propagación de pulsos y ondas: <i>asociación de la velocidad de propagación con características de la fuente (amplitud y rapidez) uso de dife rentes modelos en diferentes situaciones. Modelos híbridos (ingenuos -científicos)</i></p>

Dado que suponemos que en un TL también se producen evoluciones en el desarrollo conceptual de los estudiantes en el dominio teórico, se consideró pertinente la selección de este tema para el planteamiento de situaciones de TL en un curso experimental.

Metodología

La identificación de las conceptualizaciones de los estudiantes sobre el tema de ondas mecánicas al inicio del TL se hizo mediante tres cuestionarios, cada uno dirigido a un aspecto particular del tema: naturaleza de las ondas, propagación de las ondas y dependencia de la velocidad de las ondas con otras variables (anexo)

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 Mecánicas, en el contexto del curso de laboratorio III ofertado en Mayo–Noviembre, 2003, y Abril-Julio, 2004, respectivamente. En ambos casos, los estudiantes habían estudiado previamente el tema de ondas en un curso teórico.

A los estudiantes se les presentaron las situaciones problema por escrito, para que individualmente expresaran por sus ideas. Luego, con el grupo N_1 se propició una discusión en grupo en torno a las respuestas. La discusión se consideró como una entrevista colectiva que fue grabada en audio. Entre ambas sesiones, cada estudiante realizó de manera autónoma otras acciones como buscar información.

Descripción de cuestionarios

Cuestionario 1: Naturaleza de las ondas

Se presentaron cinco planteamientos para que los estudiantes analizaran si correspondían o no a movimientos ondulatorios, argumentando su respuesta (ver anexo). Uno corresponde a una oscilación (péndulo), dos a propagación de ondas (ondas en la superficie del agua y ondas sonoras), y dos son análogos figurativos que no corresponden a ondas: la *ola humana* en un estadio y el movimiento de una serpiente. Estas cuestiones son una adaptación del instrumento empleado por Bravo y Pesa (2002).

Desde la perspectiva científica, 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 λ , según la relación $\lambda = v/f$* (French, 1995; Crawford, 1968; Feynman; Leighton, y Sands, 1964)

Cuestionario 2: Movimiento de las partículas del medio al propagarse la perturbación

El cuestionario 2 (ver anexo) 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)². En ambos casos se pregunta ¿cómo se moverá una “partícula” del medio? y ¿con qué variables asocian este movimiento?

Desde el punto de vista físico, en un medio elástico no dispersivo, la onda mantiene su misma forma (función) durante la propagación, y variables como la frecuencia y amplitud del movimiento oscilatorio de las partículas del medio durante la propagación de las ondas, están asociadas con 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, respecto de los trozos infinitesimales del medio, deberían ser pequeños; y en el caso de ondas sonoras la densidad o presión del medio en la zona perturbada no debería alejarse mucho de los valores promedio que caracterizan a dicho medio (French, 1995)

Questionario 3: Relación entre velocidad de la onda, frecuencia de la fuente y propiedades del medio.

A fin de explorar cómo relacionaban la frecuencia de la fuente, la velocidad de la onda y las propiedades del medio se elaboró un cuestionario con dos problemas³ referidos a contextos diferentes (ver anexo). El primero es sobre sonidos que se propagan en el aire, donde se varía su frecuencia y amplitud (volumen) del sonido, y se pregunta ¿cómo afectarían estos cambios al tiempo que demora la onda sonora en recorrer una distancia fija?. El segundo problema es un pulso que se propaga por una cuerda tensa, donde se desea cambiar el tiempo que tarda el pulso en viajar una determinada distancia y 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) y fuerza aplicada por la mano al extremo de la cuerda (fuente).

El modelo de onda mecánica más simple, construido desde la física, considera a la velocidad de propagación de la onda dependiente de las propiedades del medio, las cuales varían según sea 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 la tensión y la densidad lineal en el caso de cuerdas, o la presión y la densidad volumétrica en los gases, afectarían al tiempo que tarda en recorrer la onda una cierta distancia. (French, 1995)

Resultados: Invariantes Operatorios de los estudiantes ante las situaciones de laboratorio.

En atención al modelo MATLaF, el primer momento de recolección de información durante el trabajo de laboratorio, esta dirigido a *Identificar invariantes operatorios (IO) de los estudiantes asociados con el dominio teórico (ondas mecánicas)*. Para ello se procesaron los textos escritos tanto de los cuestionarios como de la entrevista colectiva siguiendo el siguiente procedimiento de análisis de contenido que se describe a continuación:

- Los textos se fragmentaron en episodios según su significación o intencionalidad. Y después éstos se dividieron en unidades de análisis, UA (frases, oraciones o grupos de oraciones).

- De las UA se identificaron Invariantes operatorios (conceptos-en-acción, CEA, y teoremas-en-acción, TEA). Según el modelo MATLaF, los IO serían los elementos estables de los modelos mentales que los estudiantes construían para resolver la tarea, por ello se consideraron CEA, a aquellos términos surgidos en el discurso de cada estudiante, con los cuales se expresaban asociaciones o proposiciones, TEA, y que aparecían de manera repetida en los textos. La intervención del docente durante la entrevista estaba dirigida a contrastar los IO identificados

inicialmente en las respuestas escritas a los cuestionarios.

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

- Se establecieron categorías de respuestas según los TEA identificados.

- Se establecieron las dificultades de comprensión de los estudiantes en relación con los tópicos abordados en las situaciones propuestas, desde la perspectiva de la ciencia.

Respuestas escritas en los Cuestionarios iniciales.

Los CEA activados por los estudiantes ante las situaciones presentadas, en su mayoría se correspondían a términos empleados en la ciencia. Sin embargo, los TEA evidenciaban que el significado de estos CEA variaba según la situación, y en algunos casos no se correspondía con el significado asignado desde la concepción científica, tal como se muestra en el cuadro 2.

Cuadro 2. Conceptos-en-acción (CEA) y teoremas-en-acción (TEA) ante situaciones relacionadas con: naturaleza de la onda, propagación de la onda y dependencia de la velocidad de la onda con otras variables; y las categorías de respuesta según los significados identificadas en estudiantes del profesorado de física.

Situación	CEA	TEA	Categoría de respuesta
<p>Questionario 1, situaciones: 1, 2 y 5</p>	<p>Energía, materia, transporte, propagación, dirección, onda, perturbación, independencia, partículas, medio</p>	<p>1. La onda transporta energía 2. La onda no transporta materia 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 4. La onda es una perturbación que se transmite por un medio</p>	<p>A. Reconocen que alguna de las características de las ondas no está presente en la situación y la describen: A.1. Existe transporte de materia. A.2 Las partículas del medio están aisladas, funcionan de manera independiente unas de otras. A.3. Reconocen la no existencia de las características de las ondas pero no las describen.</p>
<p>Questionario 1, situaciones: 3, 4 y 5 Questionario 2, situaciones: 1 y 2 Questionario 3: situación 1 (a y b)</p>	<p>Oscilación, posición de equilibrio, fuente de perturbación, onda, propagación, longitudinal, materia, medio, transporte, energía. Velocidad de la onda.</p>	<p>TEA: 1, 2 y 4 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</p>	<p>E. Reconocen la situación, asociándola a un esquema consistente con el de la ciencia: E.1. Uso de un esquema específico (oscilación) para describir la situación. E.2. Uso de un esquema específico (oscilación) para describir la situación discriminándolo de otro (onda).</p>

Conceptos en acción y teoremas en acción de estudiantes del Profesorado de Física:
Ondas Mecánicas

Situación	CEA	TEA	Categoría de respuesta
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	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 <i>ola humana</i>) oscilan (suben y bajan) por lo cual es una onda. 14. Como las personas sólo <i>oscilan</i> una a continuación de la otra, y una perturbación se propaga por el medio (personas) sin transportar materia y transportando energía	D. Asocian el movimiento de sube y baja de las personas, con el de las partículas del medio, sin

Situación	CEA	TEA	Categoría de respuesta
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. 24. La intensidad es independiente de la frecuencia. En consecuencia, por el TEA (21) ésta no influye en la velocidad 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. 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.

Los IO activados por los estudiantes según su contenido conceptual, fueron clasificados 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 2)

II) Invariantes operatorios cercanos al modelo newtoniano de partícula. (TEA: 17, 18 y 19 Categorías: I / cuadro 2)

III) Otros invariantes operatorios que no son consistentes con los significados asignados desde la ciencia (TEA: 12, 14, 16 a 19, 21, 24 a 28; Categorías: D, H, J, K y G / cuadro 2)

Discusión de respuestas a cuestionarios en entrevista colectiva.

El objetivo de esta entrevista era convalidar, modificar, descartar o complementar los IO identificados con las situaciones propuestas en los cuestionarios, del grupo N_1 de estudiantes (Cuadro 3) La discusión sobre las situaciones del Cuestionario 1 permitieron ratificar los IO identificados con las respuestas escritas y comprender en algunos casos los procesos que llevaron a ciertas respuestas. 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 (4), excepto uno)*
30. *Las ondas electromagnéticas se propagan a través de campos electromagnéticos (1 estudiante)*
31. *En el caso de ondas estacionarias no se produce transporte de materia, mientras que si son ondas viajeras sí ocurre éste fenómeno (1 estudiante).*

De la discusión en relación con las respuestas al cuestionario 3 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 *aplicar fuerza sobre la fuente para variar la velocidad de la onda*, si bien fue seleccionada sólo por uno, hay tres estudiantes que intentan justificar esta acción por lo cual se infiere que están de acuerdo con esa idea.

Un solo estudiante 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. Sin embargo, también relaciona *la velocidad de propagación de la onda con la frecuencia de la fuente*.

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.

Derivado de los IO y los aspectos que evidenciaban significados no consistentes con el conocimiento científico, se identifican dificultades en su comprensión del concepto de onda, concretamente en cuanto a: naturaleza de la onda, propagación de las ondas y sus propiedades. A partir de ello, se plantearon tres aspectos como metas de aprendizaje para el TL, relacionadas con el *dominio teórico*:

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.

Cuadro 3. Conceptualizaciones en el dominio teórico de los cinco estudiantes (seudónimos: Leo, Hilda, Yoli, Carlos, Juan) al inicio del trabajo de laboratorio.

Momento	Categorías de Invariantes Operatorios									
	A	B*	E*	F*	G	D*	H	I	J	K
	<i>Afín con la física</i>					<i>No afín con la física</i>				
Estado inicial	Leo	Leo	Leo			Leo			Leo	
	Hilda		Hilda		Hilda				Hilda	
			Yoli						Yoli	
			Carlos						Carlos	Carlos
	Juan		Juan	Juan	Juan			Juan	Juan	

* Categorías asociadas a las situaciones del diagnóstico inicial (cuadro 2).

CONCLUSIONES

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 ocurre en interrelación con conceptualizaciones del dominio teórico al cual se refiere la situación problema propuesta para el TL. En consecuencia, durante la resolución del TL también se favorecerá el desarrollo conceptual de los estudiantes en cuanto al contenido teórico particular del problema. Por lo que es necesario conocer el estado inicial de las concepciones de los estudiantes al respecto.

Tomando como referencia la teoría de campos conceptuales se estudiaron los invariantes operatorios de los estudiantes al inicio del TL, encontrando resultados que se asemejan a los reportados por otros autores (Cuadro 1). Los grupos evaluados activaron una diversidad de esquemas específicos, fuertemente dependientes de las características de la situación planteada. Lo cual significa que ellos no reconocían las situaciones presentadas como miembros de una misma clase, es decir, no poseen esquemas generales desarrollados en relación a los

problemas propuestos sobre ondas. Además, desde la perspectiva de la ciencia, algunos de los invariantes operatorios identificados no se corresponden con los modelos teóricos aceptados.

El modelo MATLaF (Andrés, Pesa y Moreira, sf) nuevamente resulta útil para interpretar la dinámica cognitiva durante el abordaje de la situación propuesta para el TL; permitió identificar el nivel de desarrollo conceptual de los estudiantes en relación con el dominio teórico. Esta potencialidad del modelo tiene implicaciones importantes para la planificación de la enseñanza en el laboratorio, ya que el nivel de desarrollo conceptual y las dificultades identificadas en los estudiantes en relación con el dominio teórico asociado con la situación, resultan insumos relevantes el establecimiento de metas de aprendizaje, y por lo tanto, para la selección de los subsiguientes TL; ello permite la evaluación de la efectividad del mismo, aspecto éste que ha sido reportado como una debilidad de algunas investigaciones en el área (Barberá y Valdés, 1996)

Se recomienda la realización de estudios con situaciones de laboratorio en otras temáticas seleccionados para el desarrollo del dominio metodológico, para identificar aquellas en las cuales los estudiantes manifiesten dificultades de comprensión teórica, a fin de proponerlos como TL que también contribuyan, intencionalmente, al aprendizaje de aspectos específicos de orden teórico.

REFERENCIAS

- Andrés, Ma. M. (2005). Diseño del trabajo de laboratorio con bases epistemológicas y didácticas: caso carrera de docentes de Física. Disertación Doctoral Universidad de Burgos España.
- Andrés, Ma. M. y Pesa, M. (2003) *Teoría de Campos Conceptuales de Vergnaud y el Trabajo de Laboratorio en cursos de física.*

- Presentado en la 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 de Investigaçao em Educaçao em Ciencias* Vol 4 (1) Enero/Abril pp 59-75
- .Andrés, Ma. M., Pesa, M. y Moreira, M. A. (sf) El trabajo de laboratorio en cursos de física desde la teoría de campos conceptuales. *Ciencia y Educación*. Brasil(en arbitraje).
- 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.
- Caballero, Ma. C. (2003) La progresividad del aprendizaje significativo de conceptos Actas del PIDEC: textos de apoyo del programa Internacional de Doctorado en Enseñanza de las Ciencias de la Universidad de Burgos. Vol 5 p. 137-154 Porto Alegre: UFRGS.
- Chalmers, A. (1998) *¿Qué es esa cosa llamada Ciencia?* España: Siglo XXI ISBN 84-323-0426-3.
- Crawford, J (Jr) (1968) *Waves. Berkeley Physics Course*. 3 Cap. 4, 156-191.
- Feynman, R.; Leighton,R. y Sands, M. (1964) *The Feynman Lecture on Physics* Addison-Wesley Publishing Company, Volúmenes I, II.
- 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.

- Johnson-Laird, P. (1983) *Mental models* (Cambridge, MA: Harvard University Press).
- Linder, C.J. (1993) University physics students' conceptualizations of factors affecting the speed of sound propagation. *International Journal of Science Education*. 15(6) 655-662 .
- 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 .
- Moreira, M. A. (2002) La teoría de los campos conceptuales de Vergnaud, enseñanza de las ciencias y la investigación en el área. *Investigações em Ensino de Ciências*. 7(1) Art. 1 (http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/vol7/n1/v7_n1_a1.html) Traducción de Isabel Iglesias.
- Rodríguez, Ma.L. y Moreira, M. A. (2002) *La teoría de los campos conceptuales 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.
- 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. (1998) A comprehensive Theory of Representation for Mathematics Education. *Journal of Mathematical Behavior*. 17(2) 167-181.
- Welti, R. (2002) Concepciones de los estudiantes acerca de la energía de las ondas *Enseñanza de las Ciencias*. 20(2) 261-270.

- 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/ (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

ANEXO

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

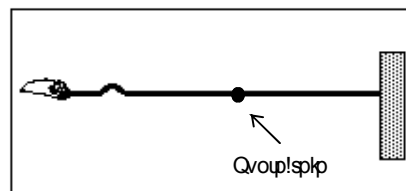
1. Una larga cuerda tensa está sujeta a una pared distante. Una persona mueve su mano hacia arriba y hacia abajo en un tiempo t_{mano} , creando

un pulso de pequeña amplitud que llega a la pared en un tiempo t_0 (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,

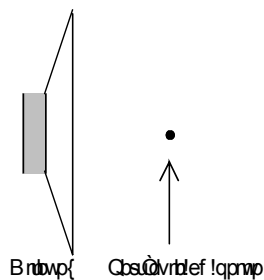
¿Cómo se mueve este pedazo de cuerda? Explique

¿Cuánto tiempo dura el movimiento del punto rojo? Explique



2. Una partícula de polvo esta localizada en frente de un altavoz silente (ver figura). El altavoz es prendido y toca una nota a frecuencia constante.

Describe 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 siguientes, la persona puede variar la cantidad de tiempo que le toma al pulso llegar a la pared

a. Mueve su mano más rápidamente hacia arriba y hacia abajo con la misma distancia.

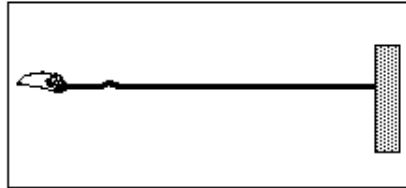
b. Mueve su mano una distancia más grande hacia arriba y hacia abajo en el mismo tiempo.

c. Usa una cuerda de diferente densidad, pero con la misma tensión.

d. Usa una cuerda de igual densidad, pero con mayor tensión.

e. Pone más fuerza en la onda

- f. Pone menos fuerza en la onda
- g. Ninguna de las anteriores causa el efecto deseado.



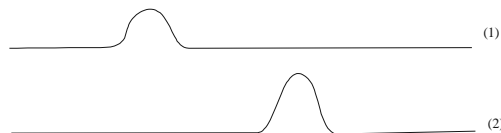
(Wave Diagnostic Test, UMd, Wittmann, Steinberg y Redish, 2001)

CUESTIONARIO 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 1
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.



(los pulsos viajan hacia la derecha ®)

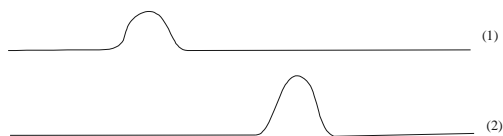
B Se tienen dos cuerdas distintas sobre el suelo.

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?



(los pulsos viajan hacia la derecha ®)

¹ MATLaF: Modelo de aprendizaje para el Trabajo de Laboratorio en Física (Andrés, 2005).

² Situación tomada de una prueba desarrollada por Wittmann, Steinberg y Redish (2001).

³ Problemas adaptados de la prueba diagnóstico sobre ondas de Wittmann, Steinberg y Redish (2001)