

Desarrollo conceptual acerca de ondas mecánicas en un laboratorio guiado por el modelo MATLaF

Andrés Z., Ma. Maite¹, Pesa, Marta A.² y Meneses V., Jesús³

¹Departamento Matemática y Física. Universidad Pedagógica Experimental Libertador-Instituto Pedagógico de Caracas, UPEL-IPC, Caracas. Venezuela. E-mail: maitea@cantv.net ²Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología. Universidad Nacional de Tucumán. Tucumán. Argentina. E-mail: mpesa@herrera.unt.edu.ar ³Facultad de Educación. Departamento de Didácticas Específicas. Universidad de Burgos. Burgos. España. E-mail: meneses@ubu.es

Resumen: En este trabajo se presentan los resultados en relación al nivel de desarrollo conceptual de los estudiantes en la temática de ondas mecánicas, durante el trabajo de laboratorio fundamentado en la teoría de campos conceptuales de G. Vergnaud (Modelo MATLaF). El ensayo se llevó a cabo con estudiantes del profesorado de física, en el marco del curso de laboratorio III de la Universidad UPEL, Caracas, Venezuela. Se consideraron tres momentos del proceso para la recolección de datos: al inicio con tres cuestionarios y una entrevista colectiva; en el intermedio con las conclusiones derivadas por los estudiantes de su interacción con simulaciones; y al final con los reportes de laboratorio y un cuestionario. Los resultados muestran un desarrollo satisfactorio de las concepciones iniciales de los estudiantes, tanto por su aproximación a las ideas científicas como por su grado de sistematicidad y coherencia.

Palabras clave: desarrollo conceptual, trabajo de laboratorio, ondas mecánicas.

Title: Conceptual development on mechanical waves in a laboratory been guided by the MATLaF model

Abstract: This paper reports the findings of the conceptual development in the theoretical domain of the students they carried out a laboratory work on mechanical wave according to the dynamic model of learning MATLaF. This model is based in Vergnaud's conceptual fields theory. This study was carried out with students of physics teaching, in the laboratory III course at UPEL, Caracas, Venezuela. Three moments during the process for the gathering of data were considered: at the beginning with three questionnaires and a collective interview; in the middle with the conclusions derived by the students of their interaction with simulations; and at the end with the reports of laboratory and a questionnaire. The results show a satisfactory movement in the initial conceptions of the students, so much for their approach to the scientific ideas like for their degree of complexity.

Key word: conceptual development, laboratory work, mechanical wave.

Introducción

En esta investigación hemos considerado el trabajo de laboratorio (TL) como una actividad que interrelaciona el aprendizaje de los dominios metodológico y teórico en forma indisoluble, así como para el desarrollo de concepciones acerca de la actividad experimental cónsonas con visiones epistemológicas actuales. Desde la Teoría de Campos Conceptuales (Vergnaud, 1990) se elaboró un modelo para comprender el proceso de aprendizaje en el laboratorio (MATLaF) (Andrés, Pesa y Moreira, sf) que permite guiar la acción didáctica (Andrés y Pesa, 2004). El modelo fue evaluado mediante 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 artículo reportamos los resultados sobre la evolución conceptual de los estudiantes en relación a los contenidos teóricos sobre ondas mecánicas, al que se refería la situación de laboratorio ejecutada según el modelo MATLaF.

Marco teórico

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

En tal sentido, en el laboratorio predomina el aprendizaje del dominio metodológico en interrelación indisoluble con algún marco teórico de referencia asociado a la situación planteada. Dentro de ese dominio, se identifican procesos típicos del quehacer de 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.

Desde una perspectiva cognitiva, estos procesos del dominio metodológico constituyen tareas que demandan conceptos y reglas de acción características de dicho dominio, a la luz de algún referencial teórico asociado con la situación a resolver. Estos conocimientos propios del dominio metodológico deben ser aprendidos por los estudiantes, y en consecuencia, deben estar declarados como metas explícitas de aprendizaje durante los TL. Además, encontramos tópicos del dominio teórico asociado con la situación problema que pueden ser incluidos como metas de aprendizaje; así como conocimientos de otros campos conceptuales demandados por procedimientos experimentales más generales propios del TL, como es el caso de los principios de funcionamiento inherentes a los equipos e instrumentos de medición. Por ello, si el Trabajo de Laboratorio consiste en enfrentar una situación problemática cuya resolución demanda enfrentar diversos tipos de tareas donde intervienen los dominios teórico y metodológico, su abordaje resultará ser una actividad cognitiva compleja.

A fin de comprender la actividad cognitiva de los estudiantes durante el aprendizaje cuando abordan este tipo de tareas (TL), hemos construido un

modelo interpretativo basado en la teoría de Campos Conceptuales (TCC) de Vergnaud (1990), que hemos denominado: Modelo dinámico de Aprendizaje en los Trabajos de Laboratorio en Física (MATLaF) (Andrés, Pesa y Moreira, sf) (Figura 1).

Un aspecto central en la teoría TCC (Vergnaud, 1990) para que se produzca la construcción significativa de nuevos esquemas (aprendizaje), es el enfrentar a los estudiantes a situaciones novedosas. En este proceso de elaboración pragmática, el desarrollo cognitivo es moldeado por las acciones de los sujetos en situaciones concretas y por las conceptualizaciones subyacentes a ellas (Vergnaud, 1990). Se entiende por *esquema* a una estructura cognitiva que permite al sujeto actuar ante situaciones problemáticas; constituida por: *Invariantes operatorios (IO)*. Estos son: algunas propiedades, conceptos-en-acción (CEA), y algunas proposiciones -verdaderas o falsas- que relacionan los conceptos-en-acción, denominados teoremas-en-acción (TEA), que constituyen y le dan sentido a los conceptos de un campo conceptual (CC). Los CEA le permiten la identificación y selección de la información, y con los TEA, producen las inferencias y la selección de reglas de acción para dominar la situación. Para la enseñanza son estos aspectos los que interesan investigar, ya que ellos contienen una parte explícita que se apoya en una conceptualización implícita, que resulta ser operatoria (Vergnaud, 1990; 1998).

Los esquemas también incluyen: *Metas y anticipaciones* que permiten identificar las clases de situaciones. *Reglas de acción*, suelen ser: del tipo "si... entonces", y a partir de ellas se genera una secuencia de acción específica para la situación, ó, reglas de búsqueda de información. *Posibilidades de inferencias*, razonamientos que permiten evaluar, "aquí y ahora", las reglas y anticipaciones a partir de los invariantes operatorios que dispone el sujeto; los que se efectúan con los tres elementos anteriores durante la actividad frente a la situación.

Otro de los conceptos básicos de esta teoría es el de Campo Conceptual (CC), el cual 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, un CC se constituye "como un conjunto de problemas y situaciones cuyo tratamiento requiere conceptos, procedimientos y representaciones de tipos diferentes, pero íntimamente relacionados" (Moreira, 2002).

Como se observa, la idea de *concepto* es central en la TCC. Esta constituido por tres conjuntos: i) las *situaciones* (el referente); ii) los *Invariantes Operatorios* (el significado); y iii) las *representaciones simbólicas* (lenguaje, gráficos, sentencias formales, diagramas,...) que son utilizadas para representar los conceptos, sus propiedades, las situaciones y los procedimientos de tratamiento (el significante) (Vergnaud, 1998; Rodríguez y Moreira, 2002).

Una *situación* constituye una tarea compleja (combinación de subtareas) cuya dificultad depende de la conceptualización para abordarla más que de la cantidad de subtareas. Cada situación requiere poner en acción algunas propiedades (IO) de los conceptos asociados, dándole sentido a estos. 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.

Los estudiantes van desarrollando sus conceptualizaciones (conocimientos) frente a las situaciones que van dominando, proceso éste lento y complejo con avances y retrocesos (Vergnaud, 1990). En el contexto de aprendizaje en el aula, se torna entonces fundamental identificar el contenido a aprender en términos de CC; ver la enseñanza como un conjunto de situaciones a resolver por los estudiantes, clasificadas y jerarquizadas según su efectividad para el aprendizaje significativo; y conocer los IO que activan los estudiantes frente a dichas situaciones.

El enfoque de laboratorio que planteamos, parte de la exposición de los estudiantes a este tipo de situaciones. Siguiendo el MATLaF, los estudiantes perciben la situación con sus esquemas; al no encontrar uno que se ajuste completamente, entran en una fase de reflexión y duda (ibidem). Así, los estudiantes construyen Modelos Mentales (MM) que evolucionan desde el MM_i hasta el MM_n recursivamente (figura 1) hasta alcanzar su funcionalidad, predicción enésima P_n (Moreira, 2002). Esta familia de modelos son transitorios y contienen algunos elementos que no cambian, por lo que parecen ser del tipo Invariantes Operatorios (IO), los cuales proceden de los esquemas de la memoria a largo plazo que fueron activados por la situación. Los MM con los IO subyacentes, permiten la identificación de la información pertinente al problema y la producción de predicciones e inferencias operativas, meta de la primera tarea del TL, con las que se genera un plan de acción.

En este proceso puede darse: 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 se favorece con la interacción social.

En el contexto de un TL, una vez que los estudiantes se encuentran satisfechos con sus predicciones, replantean el problema en términos de preguntas acerca del mundo físico según variables pertinentes al problema a resolver, y además proponen algún plan de acción a seguir, su actividad cognitiva inicial cesa por haber alcanzado la meta. Así, comienza la construcción progresiva de nuevos esquemas para la situación.

A partir de la reformulación de la situación con la producción de las preguntas relevantes (primeras demandas del problema) y de la primera secuencia de acciones, encontramos que éstas se refieren a subtareas como: *diseñar experimento, realizar mediciones, recolectar y organizar datos, transformar y representar resultados*, entre otras. Cada subtarea resulta en sí misma 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 novedosa, su resolución puede ser descrita mediante un proceso cognitivo similar al presentado en el abordaje de la meta inicial (párrafo anterior).

Así tenemos que en el proceso de una situación de laboratorio novedosa, se activarán IO referidos a diversos campos conceptuales (dominio teórico y dominio metodológico), a partir de los cuales se construyen las soluciones y se van desarrollando esquemas para nuevas clases de situaciones. En este sentido, para 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.

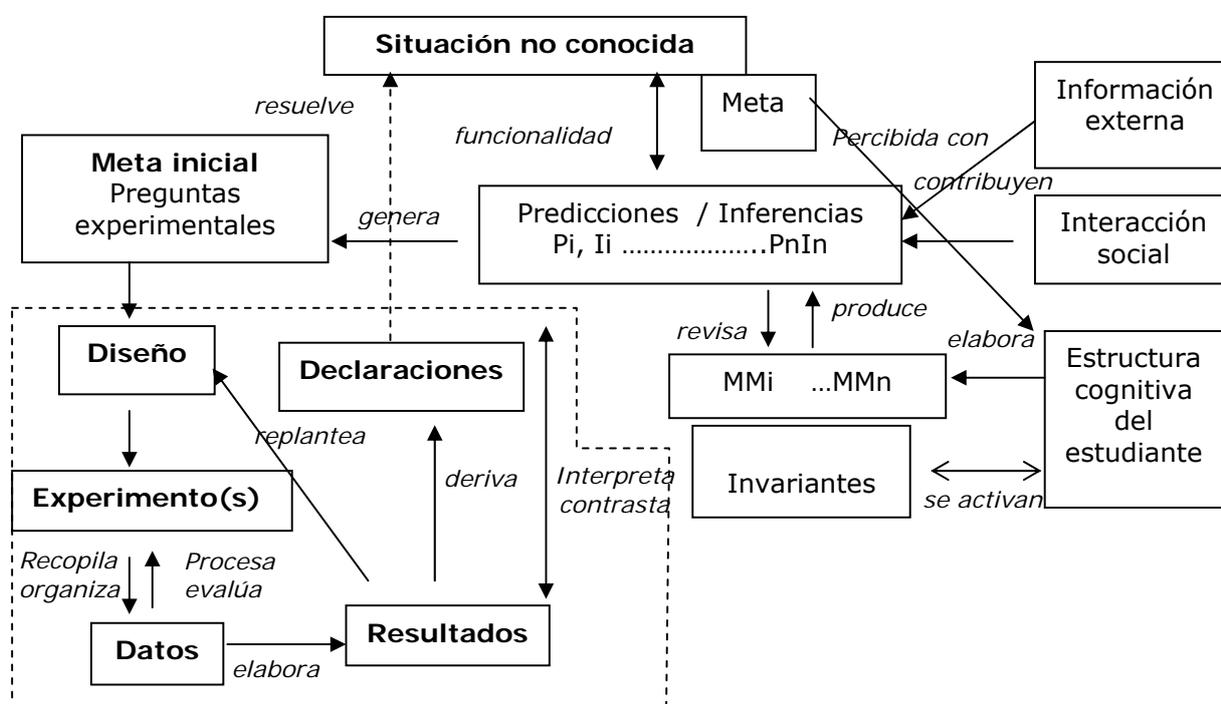


Figura 1. Modelo dinámico de aprendizaje en los trabajos de laboratorio en Física, MATLaF.

Por otra parte, como la forma en que se interrelacionan teoría, modelos científicos y experimento es dependiente de la situación, la hemos representado en la V epistemológica (Novak y Gowin, 1984), con miras a facilitar la toma de conciencia de esta dinámica (Figura 2).

La viabilidad del modelo MATLaF para guiar y comprender el proceso cognitivo durante un TL fue evaluado con un TL sobre oscilaciones, resultando satisfactorio (Andrés y Pesa, 2004). En el presente trabajo nos referiremos a un TL guiado según el modelo, el cual se enmarcó en el campo conceptual de

Ondas Mecánicas. El mismo fue intencionalmente organizado para producir aprendizajes explícitamente establecidos, en los dominios teórico-epistemológico y metodológico, en el marco de un curso de laboratorio para estudiantes de profesorado de Física. El TL se desarrolló según las fases indicadas en la figura 2 y tuvo una duración de 4 semanas (20 hs. en total). El docente, tal como lo establece el modelo, midió el proceso de aprendizaje durante la resolución de las diversas subtareas (Andrés, 2005)

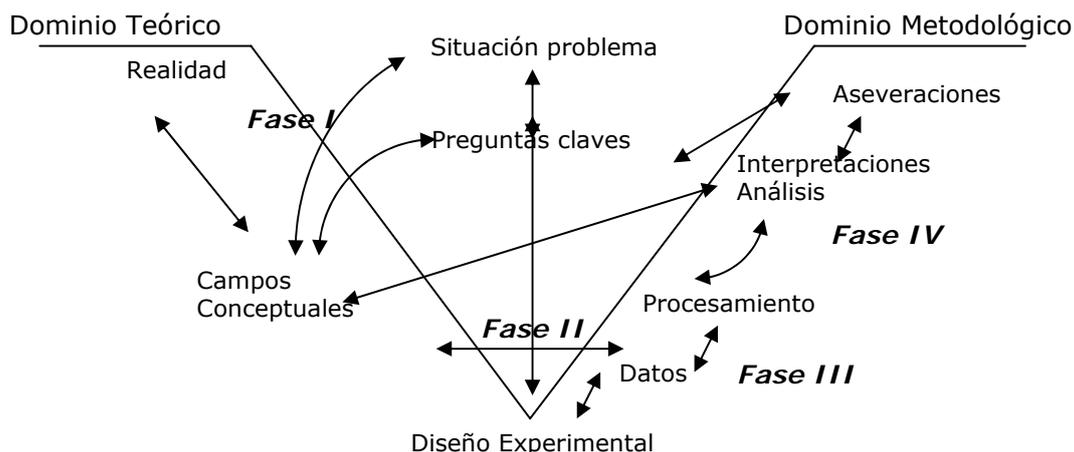


Figura 2.- Plan general para el desarrollo de un trabajo de laboratorio.

En este artículo nos centramos sólo en presentar la evolución de las concepciones de los estudiantes en el dominio teórico (ondas mecánicas) como resultado de abordar el TL desde el modelo MATLaF.

Metodología

El ensayo se considera como un estudio de casos de tipo interpretativo, realizado en la universidad UPEL-PC con estudiantes del profesorado de Física. Participaron cinco (5) estudiantes (seudónimos: Leo, Hilda, Yoli, Carlos, Juan) que conformaban el curso de Laboratorio III (Mayo – Noviembre, 2003), quienes tenían conocimiento del trabajo de investigación que se estaba realizando y de su rol como participantes. Tenían aprobados dos cursos de laboratorio, uno referido a mecánica, y otro a electricidad y magnetismo; desarrollados dentro de un esquema tradicional, donde el trabajo experimental estaba previamente planificado y pautado por el docente, con énfasis en la recolección, el procesamiento y la transformación de datos para el logro de objetivos propios del experimento.

La estrategia didáctica basada en las cinco (5) fases interrelacionadas (figura 2) fue analizado con los estudiantes, y empleada como modelo general de la actividad a realizar en el trabajo de laboratorio en el ámbito de resolución de problemas y había sido utilizado por ellos en un TL previo sobre oscilaciones.

En relación a las conceptualizaciones de los estudiantes sobre el tema de ondas mecánicas, se tomaron tres (3) momentos para la recolección de información; considerando el propósito del estudio, el modelo MATLaF y la metodología derivada de dicho modelo.

Estado inicial: Identificar invariantes operatorios de los estudiantes asociados con el dominio 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 las ondas y dependencia de la velocidad de las ondas con otras variables (anexo: cuestionarios 1, 2 y 3). Los estudiantes se enfrentaron a las situaciones problema, primero de forma individual para expresar por escrito sus ideas, y luego, de forma colectiva, participando en una discusión entre pares en torno a las ideas iniciales. Entre ambas sesiones, cada estudiante realizó otras acciones como buscar información externa, lo cual es parte de la Fase I del plan didáctico. A efecto de este estudio, la discusión se consideró como una entrevista colectiva que fue grabada en audio.

Los resultados obtenidos permitieron definir el nivel de desarrollo conceptual inicial de los estudiantes y sus dificultades de comprensión. Con ello se establecieron las metas de aprendizaje para el TL. Y se planificó la intervención que el docente debía realizar durante las fases II a V restantes, considerando la dinámica cognitiva modelada en el MATLaF.

Estado intermedio: Desarrollo de la mediación didáctica

Durante la ejecución de las fases II a IV del TL fue pertinente y necesario recabar información del proceso didáctico implementado; se utilizó un registro anecdótico llevado por el docente. Para iniciar la fase II, se preparó una actividad de simulación en computadora orientada a resolver situaciones que activaban los significados (IO) identificados con problemas desde la perspectiva de la ciencia. Los productos de esta actividad se tomaron como un estadio intermedio de las concepciones de los estudiantes.

Estado final: Evaluación de los aprendizajes logrados

El TL enfrentaba a los estudiantes ante situaciones problema no conocidas, y su resolución fue intencionalmente mediada por el docente según el modelo MATLaF. En consecuencia, se esperaba que con el abordaje y dominio final de las situaciones del TL se promovieran aprendizajes significativos en los estudiantes. Como evidencia de ello se consideraron los reportes finales y las respuestas a un cuestionario presentado después de la ejecución de los reportes.

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)¹. 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)

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

Diversos estudios señalan que los estudiantes tienen dificultades en comprender las variables que determinan la propagación de las ondas mecánicas y la interdependencia entre ellas (Maurines, 1992; Bravo y Pesa, 2002, 2004; Wittmann, 1998; 2002). En este trabajo se analizó cómo

¹ Situación tomada de una prueba desarrollada por Wittmann, Steinberg y Redish (2001).

relacionaban la frecuencia de la fuente, la velocidad de la onda y las propiedades del medio.

Se elaboró un cuestionario con dos problemas² 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)

Cuestionario final: Dos situaciones (A y B) relacionadas con la propagación de pulsos en cuerdas tensas (ver anexo).

Situación A. Se plantea la existencia de dos medios idénticos (cuerdas tensas) que están bajo las mismas condiciones (tensión); en un dibujo de dos cuerdas, se representa un pulso que viaja por cada cuerda en un instante de tiempo t ; los pulsos tienen igual ancho y diferente amplitud, además un pulso (cuerda 2) está adelantado con respecto al otro (cuerda 1). En relación a esta situación se hacen tres afirmaciones cuya validez debe ser analizada por los estudiantes. La primera dice que *la velocidad de propagación del pulso en la cuerda 2 es mayor que en la cuerda 1*, afirmación que 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 segunda afirmación: *el pulso 2 se envió antes que el pulso 1*, es válida como consecuencia de que la velocidad es la misma en ambos casos. Y la tercera afirmación dice: *el tiempo que demoran las personas en subir y bajar la mano para producir el pulso es el mismo*; la cual 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, según el dibujo, que 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

² Problemas adaptados de la prueba diagnóstico sobre ondas de Wittmann, Steinberg y Redish (2001)

variables (v , f y λ) relacionadas entre sí, 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 planteada por la tercera afirmación es más compleja que en las anteriores.

Situación B. Difiere de la anterior en que las cuerdas (medios) no son idénticas y los pulsos se emiten en simultáneo. La figura que la acompaña muestra al pulso de la cuerda 2 adelantado respecto del pulso de la cuerda 1. Se plantean dos preguntas: *¿son iguales las velocidades de propagación de los pulsos?* y *el tiempo que demoran las personas en subir y bajar la mano para producir el pulso ¿es el mismo?*

Situaciones de laboratorio

En el TL se plantearon dos grupos de situaciones, el primero fue un *tutorial*³ donde cada estudiante interactuaba con cuatro simulaciones⁴ en el computador (Franco, 2003). Para ello se diseñó un guión de trabajo dirigido a abordar algunas de las dificultades de comprensión en el dominio teórico evidenciadas con los cuestionarios iniciales.

Las situaciones a resolver en cada simulación fueron:

a) Propagación de un pulso en una barra, dirigida a analizar el comportamiento de las partículas del medio y el del pulso⁵. 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 (gráfica de la función triangular del pulso en el tiempo)

b) Propagación de ondas armónicas longitudinales en una barra, producidas por una fuente vibratoria con movimiento armónico simple (martillo). El énfasis del guión está en el análisis del comportamiento oscilatorio de las partículas del medio y de la onda. El simulador permite variar la velocidad de propagación del pulso y la longitud de onda, y calcula de forma automática la frecuencia, el período y el tiempo transcurrido. En la simulación hay dos tipos de representaciones simultáneas: la icónica (modelo de medio como conjunto de partículas distribuidas de forma homogénea) y la simbólica (gráfica de la función de onda en el tiempo) (Figura 3).

c) Propagación de ondas armónicas en una cuerda, producidas por una fuente vibratoria con movimiento armónico simple⁶. En la simulación es factible variar la frecuencia de vibración de la fuente y la velocidad de propagación en el medio, y observar su efecto sobre la longitud de onda. El guión enfatizaba la relación entre la frecuencia y la longitud de la onda, y la velocidad de

³ Tutorial en el sentido dado por Wittmann (1998) en su disertación doctoral

⁴ Una simulación representa el fenómeno físico a estudiar, el cual ha sido reproducido a partir de los modelos físicos construidos para su explicación. La interacción con la simulación se supone incrementa la comprensión de los modelos. La simulación no es un trabajo de laboratorio propiamente dicho.

⁵ (www.sc.ehu.es/sbwch/fisica/ondas/descripcion/descripcion.html)

⁶ (www.sc.ehu.es/sbwch/fisica/ondas/refraccion/refraccion.html)

propagación y la longitud de la onda, así como la diferencia entre el comportamiento de un elemento dx de la cuerda y el de la onda. El evento se representa con un dibujo a escala de la onda en la cuerda.

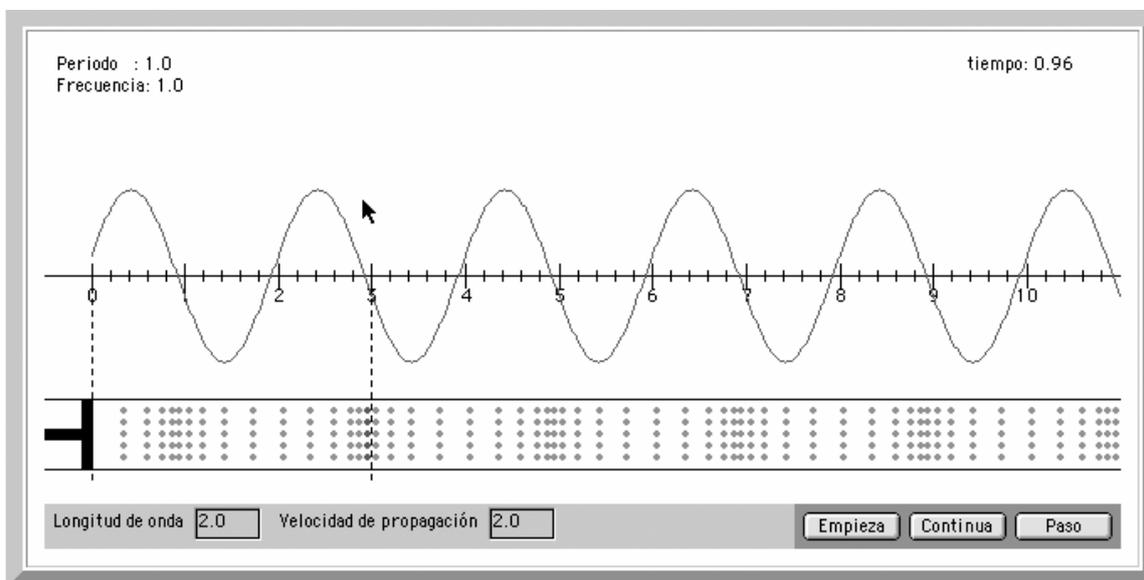


Figura 3.- Pantalla de la simulación B.
(www.sc.ehu.es/sbwhch/fisica/ondas/ondaArmónica/ondasArmónicas.html)

Al finalizar cada simulación el guión solicitaba que redactaran unas conclusiones acerca de la actividad ejecutada. Estas respuestas fueron tomadas como evidencia de las conceptualizaciones construidas acerca del tópico después de abordar la tarea. Por ello se consideró como un estado intermedio del desarrollo cognitivo de los estudiantes.

Trabajo experimental propiamente dicho

El TL se inició con las situaciones de los tres cuestionarios (fase I), la meta de esta fase era formular un conjunto de preguntas relevantes cuya solución implicaba el desarrollo las tareas propias del quehacer experimental (fases II a V). En este proceso se guió a los estudiantes, suministrando información, modelando algunas acciones y orientándolos en cuanto al manejo de diversas formas de representación de los resultados.

Durante el diseño de los experimentos se hizo especial énfasis en la discriminación de las variables relevantes en atención al modelo que estaban asumiendo y las observaciones directas. Las variables fueron: *velocidad de propagación de la onda* (v), *tiempo de duración del movimiento de la mano en subir y bajar* (t_m), *longitud de la onda* (λ), *medio*, *densidad del medio* (ρ), *forma del pulso*, *altura del movimiento de la mano* (h); *amplitud* (A) y *tiempo en subir y bajar una espira* (t_{espira})

Dado que el medio con el que trabajarían era un resorte de demostraciones de ondas⁷, el cual supusieron era equivalente a una cuerda tensa donde la relación entre las variables se puede expresar según:

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

en consecuencia, consideraron como propiedades del medio factibles de influir sobre la *velocidad de propagación*, a la *tensión (T)* a la cual estuviese sometido el resorte y su *densidad lineal (ρ_L)*, es decir, *la masa del resorte (m) entre su longitud estirado, ($\rho_L = m/L_o+L$)*

La incorporación de esta relación los llevó a cuestionar el TEA inicial: *si la frecuencia de la fuente se modifica, cambia la velocidad de propagación de la onda*, con lo cual reformularon una de las hipótesis, *la frecuencia de la fuente no influye en la velocidad de propagación del pulso*.

Propusieron cinco experimentos, los que describieron mediante una tabla (cuadro 1), que indicaba las variables relevantes (variable independiente, VI; variable dependiente, VD) y el número de valores que tomarían las VI en cada caso.

Ensayo	VI	VD	Variables a controlar	Modelo
R	t_{mi} (i: 3 valores)	v_{exp}	L_o+L ; T; h; forma	$v_{teórico}$
R- T_i/L_i	T_i - ρ_{Li} (i: 5 valores)	v_{exp}	h_o , t_{mi} ; forma	$v_{teórico}$
R- h_i	h_i (i: 3 valores)	v_{exp}	L_o+L ; T ; t_{mi} ; forma	$v_{teórico}$
R-Forma	Forma (i: 2 valores)	v_{exp}	L_o+L ; T ; h; t_{mi} ; forma	$v_{teórico}$
R- t_{mi}	t_{mi} (i: 3 valores)	t_{espira}	L_o+L ; T ; h; forma	-----

Cuadro 1.- Experimentos propuestos y tabla organizativa diseñada por los estudiantes.(R, resorte. t_m tiempo del movimiento de la mano en subir y bajar el resorte. T, tensión sobre el resorte; ρ_{Li} densidad lineal del resorte; h, altura de la mano que perturba el resorte; t_{espira} tiempo que tarda una espira en subir y bajar al paso del pulso; v_{exp} velocidad del pulso experimental, $v_{teórico}$ velocidad del pulso teórica; L_o+L , longitud del resorte).

El problema de la medición de las variables planteado como una tarea específica, surgió después de haber completado el cuadro 1, aunque ya habían discutido al respecto. Midieron la *Tensión* mediante un dinamómetro y la *Longitud del resorte* con una cinta métrica; calcularon la velocidad de propagación que podría tener la onda según el modelo asumido (ec.1). 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. Se les ofreció como opción la

⁷ Resortes empleados para demostraciones de transmisión de pulsos y ondas (longitud sin estirar, $L_o \approx 1.85$ m y masa total, $m \approx 0,7$ kg)

grabación en video del movimiento del pulso a lo largo del resorte, para luego medir posiciones con el programa VideoPoint^{TM8} en el computador.

Los estudiantes planificaron las tomas de las películas⁹ para los diferentes experimentos propuestos. 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. Las películas fueron digitalizadas con el programa iMovie¹⁰, con un tiempo entre cuadros de 1/29.95 s.

En colectivo establecieron el procedimiento para medir las variables de interés con el programa VideoPointTM, como ejemplo describiremos dos:

1. *Posición del pulso (x)*: se marca la posición del pulso en cada cuadro tomando como punto de referencia, el punto más alto del pulso (Figura 4)



Figura 4.- Posiciones del pico del pulso que se propaga en un resorte tenso, en cada cuadro de la película ($\Delta t = 0.033$ s), mediante el programa VideoPointTM

2. *Longitud del pulso (λ)*: se marca en cada cuadro las posiciones del comienzo y el final de la perturbación. El programa calcula la distancia entre cada par de puntos (Figura 5).

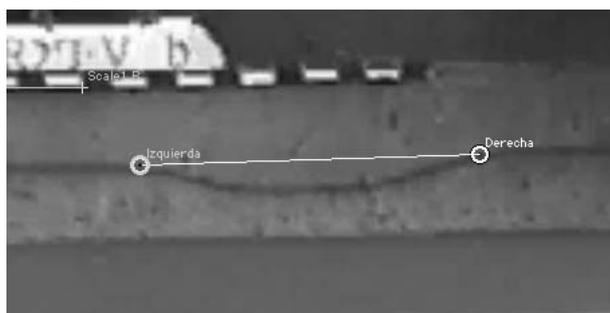


Figura 5.- Posición inicial y final de una perturbación que se propaga en un resorte tenso en un instante determinado; realizadas con el programa VideoPointTM

⁸ VideoPointTM (v.2.5) Lenox Software Lenox, MA.01240, © 2001, licencia de Maite Andrés.

⁹ Emplearon una cámara de video Panasonic Palmcorder, modelo NV-RJ47PN.

¹⁰ iMovie, 2.1.1 Corporation Apple Computer, Inc 2000-2001, licencia de Maite Andrés.

El trabajo de medición de las variables para las cinco (5) relaciones que se habían propuesto estudiar fue distribuido entre los estudiantes. Los datos de las medidas efectuadas con el VideoPoint fueron exportados en archivos formato .txt, los cuales fueron procesados y analizados por los estudiantes con un programa de hoja de cálculo.

Desarrollo conceptual durante el trabajo de laboratorio

En atención al modelo MATLaF, el primer momento de recolección de información durante el trabajo de laboratorio, estaba dirigido a *Identificar invariantes operatorios (IO) de los estudiantes asociados con el dominio teórico*. 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 de representación (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.

Resultados

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.

Respuestas escritas de 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 varía 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 (Anexo)

Se observa que predominó la asociación de la velocidad de propagación de la onda con la frecuencia de la fuente generadora y con las propiedades del medio. Dos estudiantes también consideraron factible que cambie la velocidad de la onda, *cuando se producen vibraciones con más fuerza*, los argumentos dados para este TEA se basan en la segunda ley de Newton, es decir, en la noción de onda como objeto. 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. 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 (Leo, en la "ola en el estadio") o a no responder (Carlos y Yoli). También surgieron nuevos TEA en relación con el CEA *medio*,

29. El medio puede ser material o vacío para la propagación de ondas electromagnéticas (todos los estudiantes, excepto Leo)

30. Las ondas electromagnéticas se propagan a través de campos electromagnéticos (Leo)

31. En el caso de ondas estacionarias no se produce transporte de materia, mientras que si son ondas viajeras sí ocurre éste fenómeno (Leo)

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 Juan, hay tres estudiantes que intentan justificar esta acción por lo cual se infiere que están de acuerdo con esa idea.

Un solo estudiante (Leo) 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 plantearon tres aspectos como metas de aprendizaje del TL, en 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.

Las simulaciones para los tutoriales que se propusieron durante el TL, entre la fase I y las siguientes, se seleccionaron tomando en cuenta los tres tópicos anteriores.

Resultados después de los tutoriales

Las conclusiones escritas de los estudiantes al finalizar la interacción con cada simulación fueron organizadas tomando la clasificación establecida para el análisis de resultados del momento I (cuadro 2). Los datos evidencian una evolución en los IO de los estudiantes Juan y Leo, respecto de los que activaron ante los problemas de los cuestionarios; además, en ambos estudiantes parece que las actividades realizadas favorecieron la construcción de TEA 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.

La estudiante Yoli continuó mostrando razonamientos híbridos (Categorías: A, H, J). La estudiante Hilda parece que logró 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 sobre la relación entre frecuencia, velocidad y longitud de la onda, sus respuestas, aunque se corresponden a las de la categoría L, parecen no tener significado, ya que las verbalizaciones eran del tipo libro de texto, sin argumentación, por lo que fueron codificadas como una nueva categoría, G: asume autoridad de manera acrítica. Y

por último, el estudiante Carlos no pudo resolver la tarea planteada en las simulaciones, no pudiendo emitir conclusiones al respecto.

Resultados derivados de los reportes finales

Para la elaboración de los reportes, la única sugerencia que se les dio a los estudiantes fue que debían contener todo lo relativo a los elementos del plan general (Figura 2). 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 ensayo, el contenido de los reportes fue analizado en cuanto a: *análisis conceptual, descripción de los experimentos, procesamiento y transformación de los datos, análisis de los datos y conclusiones*. Para el análisis se estableció un conjunto de categorías que sintetizan las acciones más relevantes para la ejecución del TL. Los resultados de la evaluación fueron discutidos con cada uno de los estudiantes, lo que para efectos del estudio se asumió como una estrategia de validación de resultados. En el cuadro 3 se reportan los aspectos que dan cuenta del desarrollo conceptual en cuanto al dominio teórico.

Un análisis del contenido de las conclusiones de los reportes, permitió extraer textos en los cuales parece que subyacen los invariantes operatorios de los estudiantes¹¹ al final del TL. Éstos son:

- *Para diferentes frecuencias del generador la velocidad de propagación es la misma, manteniendo el medio constante*
- *Las rapidezces 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.*
- *La velocidad de propagación del pulso es constante, y es igual en el viaje de ida que en el viaje de vuelta.*

¹¹ La estudiante Hilda no elaboró conclusiones en el reporte final

- 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 la tensión entre la densidad lineal del resorte.

A. Análisis Conceptual	Juan	Leo	Hilda	Carlos	Yoli
Explicita los conceptos relevantes para la situación del TL y las relaciones entre ellos	P	P	Textual	Textual	P
Explicita las hipótesis o resultados esperados por cada pregunta.	No explícito*	P	--	--	P
Argumenta los resultados esperados.	No explícito*	P	--	--	P
Emplea diferentes niveles de representación de los conceptos y sus relaciones (verbal, simbólico, gráfico)	P	P	Sólo Verbal	Sólo Verbal	P

Cuadro 3.- Resultados en relación al tema de ondas según los Reportes Finales por estudiante. (P: presencia adecuada del aspecto considerado. Textual: Síntesis de la teoría presentada en los libros de textos, sin relación con la situación-problema del TL. * No están en esta sección, pero aparecen empleadas en otras partes del reporte.)

Se observa que los textos de las conclusiones contienen las ideas esperadas desde la ciencia. Además, de acuerdo con el cuadro 3, pareciera que tres de los estudiantes alcanzaron el desarrollo conceptual establecido como metas de aprendizaje.

Resultados derivados de los cuestionarios finales

Los estudiantes parece que reconocieron las situaciones propuestas como miembros de una misma clase, ya que emplearon menor variedad de IO para su solución (cuadro 4). El IO más utilizado (Categoría L) contiene:

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 (ρ) también, los pulsos que viajen por ellas tendrán igual velocidad de propagación (v), porque, $v = (T/\rho)^{1/2}$

Con excepción del estudiante Yoli, quien emplea una variante de la categoría L (L': *emplea las relaciones establecidas en el esquema denominado categoría L, de manera integrada, es decir, manejando múltiples variables interdependientes*), los estudiantes evidenciaron 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. Además, tres de los estudiantes emplearon dos formas de representación, la lingüística y la simbólica matemática.

Los resultados de los cinco estudiantes obtenidos en los diferentes momentos del estudio son sintetizados en el cuadro 5 (Anexo). De los resultados obtenidos en el cuestionario final se puede concluir que en cuanto al tema de ondas, los estudiantes: i) fortalecieron el IO relacionado con la dependencia entre la velocidad de propagación de los pulsos y las propiedades del medio (categoría L); y ii) descartaron para estas situaciones, los IO que asocian la frecuencia de la fuente con la velocidad de propagación del pulso (Categoría J)

Situación	A.1	A.2	A.3	B.1	B.2
Estudiante					
Carlos	L	L	L*	L	L*
Hilda	L	G*	L*	G*	No
Leo	L	L	L*	L	L*
Yoli	L	L	J3/J4*	L	L'
Juan	L	L	J/L*	L	No

Cuadro 4.- Invariantes operatorios empleados para resolver las situaciones del Cuestionario Final (Las letras corresponden a las categorías de respuesta descritas en cuadro 2 o posteriormente), el asterisco indica que el IO subyacente lleva a una respuesta no aceptada desde la física)

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 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 contenido teórico particular del problema.

En general, en este estudio los estudiantes produjeron desarrollos en sus conceptualizaciones, en diferente grado (cuadro 5) Todos, frente a los problemas planteados, dejaron de activar IO cuyo contenido no se corresponde con los significados de la ciencia; ello puede considerarse como una evidencia de que ocurrió una reconstrucción conceptual con un mayor grado de acercamiento

hacia las concepciones científicas. De cada momento considerado en el estudio se concluye que:

- a) En el estado inicial todos los estudiantes activaron una diversidad de esquemas específicos, muy dependientes de las características de la situación planteada. Esto significa que ellos no reconocían las situaciones presentadas como miembros de una misma clase de situación. Además, desde la perspectiva de la ciencia, algunos de los esquemas identificados no se corresponden con modelos aceptados en la ciencia.
- b) Con el trabajo del tutorial, tomado como un estado medio de aprendizaje, se observó que los esquemas de dos estudiantes evolucionaron hacia los modelos aceptados por la ciencia, y lograron iniciarse en el uso de diferentes formas de representación de los conceptos (pictórico y gráfico). Mientras que una estudiante respondió 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. Una estudiante mantuvo sus esquemas iniciales. Por último, se destaca que el estudiante Carlos no logró expresar conclusiones en ninguna de las situaciones presentadas en los tutoriales. Tal como ha sido expresado por otros autores (Wittmann, 1998) los tutoriales pueden contribuir con el desarrollo conceptual en cuanto al contenido teórico, aunque del estudio realizado pareciera que no todos los estudiantes logran aprendizajes con este tipo de actividad.
- c) El estado final muestra (cuadros 4 y 5) que los IO referidos al tema de ondas, de tres de los estudiantes se corresponden con los modelos que se esperaba que aprendieran, ratificándolo en las dos producciones finales (reporte final y cuestionario). Mientras que una estudiante aunque restringe el número de esquemas activados y los que emplea son consistentes con modelos aceptados por la ciencia, no logra comunicarlos, por lo que da muestras de que sus ideas no han alcanzado el significado esperado; y el quinto estudiante, en el reporte final pone de manifiesto la activación de esquemas cónsonos con lo que se esperaba que aprendieran, pero frente al cuestionario final evidenció la activación de esquemas que no parecen tener un significado (Categoría G).

Los resultados obtenidos son una evidencia de que el desarrollo conceptual es algo progresivo y no lineal, donde cada estudiante avanza de forma independiente como producto 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 a potenciar su desarrollo conceptual en el dominio teórico asociado con el tópico del TL.

El modelo MATLaF (Andrés, Pesa y Moreira, sf) nuevamente resultó útil para interpretar la dinámica cognitiva durante un TL; 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 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 para el establecimiento de las metas de aprendizaje para los subsiguientes TL; ello

facilita 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)

Invitamos a la realización de nuevos estudios sobre el trabajo de laboratorio, en diferentes niveles educativos y grados de complejidad conceptual, basados en la siguiente hipótesis: "Sí:

1. Se conciben los TL como una actividad compleja de resolución de problemas que implica tareas y subtareas en las que intervienen conceptualizaciones teórico-metodológicas.
2. Se identifican los invariantes operatorios de los estudiantes en relación con el campo conceptual referido a los dominios metodológico y teórico.
3. Se organiza una jerarquización de clases de situaciones de TL en atención al desarrollo conceptual, 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.
5. Se planifica y evalúa la mediación didáctica para los TL según el modelo MATLaF.
6. Se orienta el desarrollo de los TL con un plan de acción que evidencie la indisoluble relación entre los dominios teórico y metodológico.
7. Se facilita con el diagrama de la figura 2, 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".

Referencias bibliográficas

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. Córdoba, Argentina: Universidad Nacional de Río Cuarto.

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. (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., Pesa, M. y Moreira, M. A. (en arbitraje) El trabajo de laboratorio en cursos de física desde la teoría de campos conceptuales *Ciencia y Educación*.

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

Crawford, J (Jr) (1968) *Waves. Berkeley Physics Course*. 3 Cap. 4, 156-191

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

Feynman, R., Leighton, R. y Sands, M. (1964) *The Feynman Lecture on Physics* Addison-Wesley Publishing Company. Volúmenes I, II.

Franco, A. (2003) El curso interactivo de Física en Internet. Versión original 1998. Bajado en abril 2003 (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

Gil, D., Carrascosa, J., Furió, C. y Mtnez-Torregosa, J. (1991) *La Enseñanza de las Ciencias en la Educación Secundaria. Cuadernos de Educación 5*, España: Horsorí, Cap.III.

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

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, la enseñanza de las ciencias y la investigación en el área. *Investigações em Ensino de Ciências*. 7(1) Art. 1 Traducción de Isabel Iglesias. (http://www.if.ufrgs.br//public/ensino/vol7/n1/v7_n1_a1.html)

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

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

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

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.

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 Cuadro 2

Situación	CEA	TEA	Categoría de respuesta
Cuestionario 1, situaciones: 1, 2 y 5	Energía, materia, transporte, propagación, dirección, onda, perturbación, independencia, partículas, medio	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 trasmite por un medio	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.
Cuestionario 1, situaciones: 3, 4 y 5 Cuestionario 2, situaciones: 1 y 2 Cuestionario 3: situación 1 (a y b)	Oscilación, posición de equilibrio, fuente de perturbación, onda, propagación, valles, crestas, longitudinal, materia, medio, transporte, energía. Velocidad de la onda.	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	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).
Cuestionario 1, situaciones: 2 y 3	Onda (forma)	10. Las figuras o formas similares a la representación empleada para las ondas constituyen	B. Reconocen que se trata solo de una analogía pictórica.

Situación	CEA	TEA	Categoría de respuesta
		un efecto perceptual que no es relevante para decidir científicamente que la situación presentada sea una onda	
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 considerar la existencia de ligaduras entre estas últimas.
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 1 pregunta b	Rapidez, distancia, tiempo, rapidez del pulso, rapidez de la partícula	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.	H. Asocian la rapidez de las partículas del medio con la rapidez de la onda

Situación	CEA	TEA	Categoría de respuesta
	del medio	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	
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.

Cuadro 2. Conceptos-en-acción (CEA) y teoremas-en-acción (TEA) activados por los estudiantes 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.

ANEXO Cuadro 5

Momento	Categorías# de Invariantes Operatorios											
	A	B*	E*	F*	G	D*	H	I	J	K	L	L'
	<i>Afín con la física</i>				<i>No afín con la física</i>						<i>Afín con la física</i>	
Estado inicial	Leo	Leo	Leo			Leo			Leo			
	Hilda		Hilda		Hilda				Hilda			
			Yoli						Yoli			
	Juan		Carlos	Juan	Juan			Juan	Carlos	Carlos		
Estado medio	Leo				Leo						Leo	
	Hilda				Hilda							
	Yoli					Yoli		Yoli				
	Juan										Juan	
Estado Final 1	Leo										Leo	
	Hilda				Hilda							
	Yoli										Yoli	
	Carlos										Carlos	
Estado Final 2	Juan										Juan	
					Hilda							
												Yoli
					Carlos							

Categorías descritas en el cuadro 2 y categorías nuevas surgidas del Cuestionario Final.

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

Cuadro 5.- Conceptualizaciones en el dominio teórico de los cinco estudiantes (seudónimos: Leo, Hilda, Yoli, Carlos, Juan), en diferentes momentos durante el desarrollo del TL. (Estado inicial: Momento I; Estado medio: Después del tutorial; Estado final 1: Reporte Final; Estado final 2: Cuestionario final)

ANEXO CUESTIONARIOS

CUESTIONARIO 1

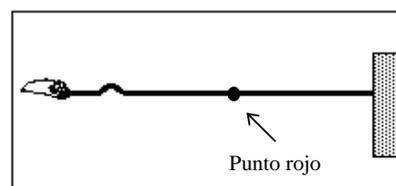
Señale cuál o cuáles de las siguientes situaciones pueden ser consideradas como ondas, justifique su decisión

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.

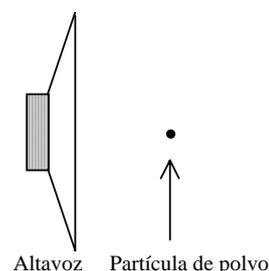
Cuando el pulso pasa por el punto rojo, ¿Cómo se mueve este pedazo de cuerda? Explique. ¿Cuánto tiempo dura el movimiento del punto rojo? Explique.



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?

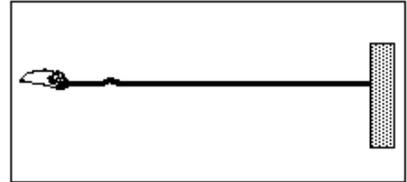
No ____ ¿por qué?

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

- Mueve su mano más rápidamente hacia arriba y hacia abajo con la misma distancia.
- Mueve su mano una distancia más 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)

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.

- La velocidad de propagación del pulso en la cuerda 2 es mayor que en la cuerda 1.
- El pulso 2 se envió antes que el pulso 1.
- El tiempo que demoran las personas en subir y bajar la mano para producir el pulso es el mismo.

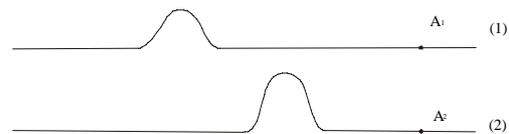


(los pulsos viajan hacia la derecha →)

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:



(los pulsos viajan hacia la derecha →)

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?