

La construcción de representaciones sobre movimiento ondulatorio

Una interpretación a partir de la integración de la teoría de campos conceptuales de Vergnaud y la teoría de modelos mentales de Johnson-Laird

Silvia Bravo - Marta Pesa

Departamento de Física
 Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología
 Universidad Nacional de Tucumán - Argentina
 sbravo@herrera.unt.edu.ar - mpesa@herrera.unt.edu.ar

En este trabajo se presentan resultados de una investigación sobre las concepciones de estudiantes universitarios acerca del mecanismo de propagación de una onda y el rol del medio de propagación en la misma. Se analizan los razonamientos que emplean estudiantes universitarios al abordar situaciones problemáticas concretas, en función de un marco teórico que articula los esquemas de la teoría de campos conceptuales de Vergnaud con los modelos mentales de la teoría de Johnson-Laird. El análisis de resultados permite identificar algunos elementos de los esquemas y las características principales de los modelos mentales que usarían los alumnos para resolver la tarea. Las conclusiones muestran la potencialidad de este marco teórico para entender los procesos de construcción de las representaciones de los estudiantes, y para la elaboración de propuestas instruccionales tendientes a un aprendizaje significativo más efectivo.

Palabras clave: representaciones, esquemas de Vergnaud, modelos mentales, propagación de ondas, medio de propagación.

Research results on university students conceptions about the mechanism of wave propagation and the roll of medium propagation, are presented. Based on a theoretical frame that articulates the schemes of the theory of conceptual fields of Vergnaud with the mental models of the theory of Johnson-Laird, students reasonings used when approaching a concrete problematic situation are analyzed. The analysis of results allows identification of some schemes and the basic characteristics of the mental models that students use to solve the task. The conclusions show the potential of this theoretical frame in order to understand the process of representations construction, and for the development of future instructional proposals, able to promote meaningful learning.

Keywords: representation, schemes of Vergnaud, mental models, wave propagation, propagation medium.

Introducción

Numerosas investigaciones realizadas sobre el aprendizaje de ondas mecánicas han reportado una serie de dificultades en el mismo. Estas dificultades han sido analizadas desde diferentes marcos teóricos en busca de una explicación o interpretación del razonamiento de los estudiantes frente a distintas situaciones problemáticas.

- Maurines (1992) analiza las respuestas de los estudiantes en base a la idea de capitalización de Viennot, en la cual el objeto almacena

la causa del movimiento bajo la forma de un “capital dinámico” (fuerza, energía, impulso, etc.), para explicar por qué la mayoría de los estudiantes concibe la propagación de un pulso en términos de la fuerza que entrega la mano al crear el pulso en la cuerda.

- Utges y Pacca (1998) han sistematizado las principales representaciones de onda de estudiantes secundarios antes de la instrucción en la temática. Bravo y Pesa (2002) han ampliado la validez de estas representaciones al ámbito universitario, encontrando además modelos “híbridos” durante la etapa de la ins-

trucción y han caracterizado algunos tipos de razonamiento en función de esos modelos.

- En investigaciones posteriores, Utges y Jardon. (2002) toman como referencia el concepto de onda y proponen aportes teóricos para interpretar las dificultades de los estudiantes en la comprensión de conceptos complejos, usando las nociones de conceptos emergentes, causalidad compleja, cambio epistémico, y multiplicidad de representaciones y modelos.

- Wittmann (1998) describe el razonamiento de los estudiantes en función de “patrones de asociación” o modelos simples, por ejemplo “pulso como objeto”, y posteriormente toma un marco teórico más general (Wittman 2002) para interpretar las respuestas de los estudiantes a partir del modelo de “coordination class” de diSessa y Sherin (1998).

- Welti (2002) investiga algunas dificultades de estudiantes y profesores para interpretar y describir los mecanismos físicos asociados con la generación y propagación de una onda y la energía involucrada en estos procesos.

En este trabajo, se retoman resultados obtenidos en una investigación anterior (Bravo y Pesa, 2002) referida a las representaciones y modos de razonamiento que activan estudiantes universitarios del ciclo básico de carreras de ingeniería al enfrentarse a situaciones problemáticas que involucran la velocidad de propagación de una onda y sus vínculos con las propiedades del medio, con el objetivo de sistematizar y enriquecer la interpretación de las dificultades encontradas. Algunas de esas dificultades detectadas son: predominante recurrencia a modelos visuales, susceptibilidad de las respuestas al contexto de la tarea, bajo porcentaje de alumnos que considera el medio de propagación de la onda como determinante de la velocidad, dificultad para discriminar las variables involucradas en la creación de la onda, de las variables involucradas en la propagación de la misma, y estrategias de resolución basadas en el uso acrítico de relaciones funcionales entre las variables involucradas.

Desde la perspectiva científica, la propagación de una onda a través de un medio, por ejemplo una cuerda, involucra dos factores importantes: la fuerza que cada una de las partículas del medio ejerce sobre su vecina,

con lo cual tiende a inducirla a seguir su movimiento, y la masa de cada una de las partículas que trata de oponerse a que las partículas contiguas sigan instantáneamente ese movimiento (Eisberg 1985). Nuestra experiencia docente ha mostrado que este análisis cualitativo, que supone que la velocidad de propagación del pulso de onda en la cuerda depende de la tensión a la que está sometida y de la masa por unidad de longitud, no es nada intuitivo para nuestros estudiantes y resulta muy difícil de internalizar.

En este trabajo nos proponemos entonces abordar y dar respuesta a nuevos interrogantes:

¿Los estudiantes conciben algún mecanismo general implícito o explícito para la propagación de ondas mecánicas? En caso afirmativo, ¿Qué características tienen esas representaciones?

¿Qué rol asignan los estudiantes a las propiedades del medio de propagación?

¿Qué rol asignan a la perturbación inicial?

¿Cómo influyen las características perceptuales de los fenómenos analizados, en las representaciones construidas por los estudiantes, referidas a los fenómenos ondulatorios?

Se intentará profundizar en el análisis de las representaciones y razonamientos que emplean alumnos universitarios del ciclo básico de carreras de ingeniería asociados con el rol del medio de propagación en el movimiento ondulatorio. Para ello se adoptará como marco teórico de interpretación una propuesta de la Psicología Cognitiva (Greca y Moreira, 2002) que articula los modelos mentales de Johnson-Laird con la teoría de campos conceptuales de Vergnaud.

Marco Teórico

Teoría de Campos Conceptuales

La teoría de campos conceptuales (TCC) es una teoría cognitivista para el estudio del desarrollo y aprendizaje de competencias complejas, que se basa en el estudio de los procesos subyacentes a la cognición. Esta teoría brinda un referencial teórico que permite comprender y explicar las continuidades y

rupturas entre conocimientos durante el proceso de aprendizaje, entendiéndose como conocimientos tanto el “saber hacer” como el “saber expresar” (Vergnaud, 1994). En efecto, considera que uno de los problemas de la enseñanza es desarrollar al mismo tiempo la forma operatoria del conocimiento (saber hacer) y la forma predicativa del conocimiento, o sea, saber explicar los objetos y sus propiedades (Vergnaud, 1996).

La TCC permite analizar cómo se organizan las ideas que están interconectadas y cómo se generan los conceptos y representaciones a través del tiempo. Considera que el objeto del desarrollo cognitivo es la conceptualización y de ahí se deriva la gran importancia que atribuye al contenido del conocimiento en sí mismo y su análisis conceptual.

Según Vergnaud (1983), los *campos conceptuales* (CC) son grandes conjuntos de *situaciones* y problemas, cuyo análisis y tratamiento requieren diversas clases de conceptos, procedimientos y representaciones simbólicas que están interconectados entre sí y probablemente entrelazados durante el proceso de adquisición de conocimiento.

Una *situación* se entiende como una tarea compleja, o combinación de subtareas, a la cual se enfrenta el sujeto. El término *situación* se refiere a eventos y ocasiones de la realidad, a situaciones cognitivas (producidas en la escuela o en la vida diaria) que implican acción, ya sea procedimental o declarativa (Rodríguez, Palmero y Moreira, 2004). Los procesos cognitivos y las respuestas dependen de las situaciones a las que se confronta al sujeto.

En este referencial, el comportamiento ante una situación dada está dirigido por *esquemas*, los cuales generan una secuencia de acciones que dependen de los parámetros de la situación. Vergnaud (1990) define un *esquema* como la “organización invariante de la acción para una determinada clase de situaciones”, o “totalidad organizada que permite generar una clase de comportamientos diferentes en función de las características particulares de cada situación”. También los denomina *esquemas perceptivos-gestuales*, señalando que ellos no son estereotipos, ya que “no es la conducta lo que es invariante, sino la organiza-

ción de la conducta” (Vergnaud, 1996).

En general, los *esquemas* pueden contener varios ingredientes (Vergnaud, 1990):

- *metas y anticipaciones*, que permiten identificar situaciones,

- *invariantes operatorios (conceptos-en-acción y teoremas en acción)* mediante los cuales el sujeto puede reconocer los elementos pertinentes de la situación y la información relevante de la misma,

- *reglas de acción* del tipo “si...entonces” que permiten generar una secuencia de acciones,

- *inferencias* o razonamientos que se efectúan durante la actividad del sujeto frente a la situación.

Los *invariantes operatorios* son los conocimientos contenidos en los esquemas, es decir, los elementos cognitivos (*conocimientos-en-acción*) que determinan la activación de los esquemas. Este *conocimiento-en-acción* puede ser explícito o implícito, y está constituido por los *conceptos-en-acción* y los *teoremas-en-acción*. Se trata de conceptos y teoremas que tienen un status diferente a los conceptos y teoremas científicos. En efecto, un *concepto-en-acción* no es necesariamente un concepto científico ni un *teorema-en-acción* es necesariamente un principio científico.

Los *conceptos-en-acción* son categorías para obtener información relevante, son los que llevan a buscar la información necesaria para resolver la situación. Los *teoremas-en-acción* son proposiciones a partir de las cuales se hacen inferencias. Los *conceptos en acción* son ingredientes necesarios de los *teoremas-en-acción* (Vergnaud, 1994), pero tienen características diferentes, ya que las proposiciones pueden ser verdaderas o falsas, mientras que los conceptos en acción solo pueden ser relevantes o irrelevantes.

Las *reglas-de-acción* son también proposiciones, pero a diferencia de los *conceptos-en-acción*, no expresan algo acerca del mundo de objetos o de la realidad, sino acerca de la conveniencia de las acciones que pueda tomar el sujeto (Vergnaud, 1996).

El concepto de *esquema*, al considerar dentro de una misma unidad rasgos conductuales y representacionales (reglas de acción e inva-

riantes operatorios), permite articular aspectos observables de la actividad del sujeto con los elementos mentales de la representación.

Vemos entonces que el concepto de *esquema* es el eje de toda la teoría. Representa la organización de la conducta, y en consecuencia, se lo debe considerar como un todo, una totalidad conformada por *invariantes operatorios*, *reglas de acción*, anticipaciones e *inferencias*. La eficacia de estos esquemas depende de la relevancia de los *conceptos-en-acción* y de la verdad de los *teoremas-en-acción*.

En cuanto a la *conceptuación* como objeto del desarrollo cognitivo, esta teoría considera que un concepto va adquiriendo paulatinamente sentido para el sujeto a través de las *situaciones* y *problemas*, pues a partir de ellos va abstrayendo las propiedades que considera relevantes y que conformarán sus *conceptos-en-acción* y sus *teoremas-en-acción*. En la medida en que esos *invariantes operatorios* se puedan expresar en forma explícita, pasarán a ser conceptos. “El proceso de explicitación es difícil, pero los conceptos explícitos y los teoremas explícitos capacitan a los estudiantes para objetivar el conocimiento y discutir su idoneidad y validez” (Vergnaud, 1994). Entonces, un concepto no llega a ser totalmente un concepto si no se hace explícito. En este proceso de explicitación, se considera las expresiones lingüísticas, los símbolos y las representaciones simbólicas como el camino a través del cual se gana complejidad cognitiva.

Propuesta integradora

El constructo de *modelo mental* alcanzó gran importancia en la investigación en enseñanza de las ciencias en la última década. Si bien se ha generalizado su uso, no existe una definición general o única de lo que se puede entender como *modelo mental*. Es más, se observa vaguedad y diversificación de sentidos así como una ausencia de definiciones explícitas en el uso que se le da en la investigación en enseñanza de las ciencias (Greca y Moreira, 2002).

Moreira (1996), en base a la teoría de Johnson-Laird, considera que las personas usan en su razonamiento *modelos mentales* que les permiten explicar y hacer previsiones

respecto al sistema físico representado. Estos modelos serían estructuras cognitivas idiosincráticas, determinadas y concretas, que se activan en la memoria de trabajo del sujeto que quiere comprender, explicar o predecir una situación o proceso específico. Se caracterizan por ser estructuras dinámicas e incompletas que se generan cuando se necesita resolver una situación particular, y se van modificando o actualizando a medida que el sujeto necesita incorporar nueva información al modelo o bien cuando detecta una falta de correspondencia entre las predicciones del mismo y la realidad. Esos modelos mentales serían entonces representaciones “descartables” cuyo principal compromiso es la funcionalidad, y se les llama por ello *modelos de trabajo*. Están determinados tanto por el conocimiento general de los estudiantes como por conceptos o presupuestos que actuarían como núcleos de esos modelos mentales. Estos núcleos serían las entidades más estables de la estructura cognitiva y determinarían el conjunto de situaciones que se perciben como semejantes. El proceso de adquisición de conocimiento estaría dado por sucesivas reformulaciones de los modelos mentales dentro de una misma familia de modelos mentales con el mismo núcleo o por la generación de nuevas familias de modelos a partir de la aceptación de nuevos núcleos (Greca y Moreira, 2004). El aspecto esencial del razonamiento, más que la construcción de modelos adecuados por parte del sujeto, sería la habilidad de verificar las conclusiones o inferencias que surgen del uso de esos modelos.

Greca y Moreira (2002) plantean algunas limitaciones de las teorías sobre *modelos mentales*, como por ejemplo, la ausencia de una definición clara de lo que se entiende como concepto, e intentan avanzar con relación a las propuestas elaboradas hasta el momento en la investigación en enseñanza de las ciencias, integrando los *modelos mentales* en un referencial más amplio.

Proponen entonces una articulación de los *esquemas* de Vergnaud (“organización invariante del comportamiento para una determinada clase de situaciones”) con los modelos mentales de Johnson-Laird (“representaciones descartables o modelos de trabajo”).

Cuando el sujeto se enfrenta a una *situación* nueva, los *conceptos-en-acción* y los *teoremas-en-acción* determinan qué elementos de la misma le parecen relevantes, guiando así la construcción de una representación en la memoria de corto plazo: los *modelos mentales* o *modelos de trabajo* para resolver la tarea. Estos modelos serían representaciones mediadoras entre la situación y el conocimiento que posee el sujeto.

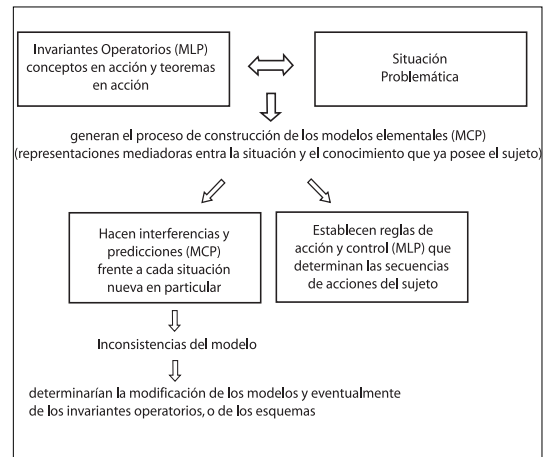
Consideran los *esquemas*, junto con los *teoremas-en-acción* y los *conceptos-en-acción*, como estructuras en la memoria de largo plazo, dejando fuera del esquema las *inferencias* que se hacen frente a cada situación nueva, y que estarían situadas, por lo tanto, en la memoria de corto plazo. Discrepan así con la idea de Vergnaud de incluir los procesos de *inferencia* dentro de los *esquemas*, ya que entonces aparecerían mezclados elementos de representaciones más estables con elementos de representaciones más dinámicas. Las inferencias ocurrirían entonces en los modelos mentales y no en los esquemas.

Se propone de este modo la existencia de dos grandes tipos de representaciones, con distinto grado de estabilidad cognitiva, y con una relación dialéctica entre ellos: los *esquemas*, estructuras representacionales con cierto grado de estabilidad en la memoria de largo plazo, y los *modelos mentales*, inestables y funcionales.

La relación entre estos dos constructos se podría sintetizar de la siguiente manera: la lectura de la realidad a partir del *conocimiento-en-acción* del sujeto determina la construcción de los *modelos mentales*, pero la búsqueda de coherencia de las predicciones, *inferencias* o explicaciones que resultan de la aplicación de esos modelos mentales con los datos del mundo exterior pueden llevar a modificar los *modelos mentales*, y eventualmente, a una reestructuración de los *esquemas* en la medida en que los sucesivos *modelos mentales* generados resulten insatisfactorios. En este marco, las *reglas de acción y control* que determinan la secuencia de acciones del sujeto, también surgen de la manipulación de los *modelos mentales* para resolver la *situación*, pero estas reglas serían características de conductas total o parcialmente auto-

matizadas, por lo cual se las considera muy estables (Greca y Moreira, 2002).

En el cuadro siguiente se sintetizan los procesos cognitivos que activa un sujeto al enfrentar una situación problemática:



En este trabajo se intenta interpretar los tipos de razonamientos que emplean los estudiantes en sus respuestas desde el marco referencial cognitivo propuesto por Greca y Moreira (2002), que articula los esquemas de Vergnaud con los modelos mentales de Johnson-Laird. Se identifican los invariantes operatorios evocados por los alumnos ante una determinada situación, los modelos mentales que podrían estar generando, y las reglas de acción que ponen en juego para resolver la situación.

Metodología

Para esta investigación se usaron tres cuestionarios, cuyos enunciados se presentan en el Anexo. Cada cuestionario presenta una situación problemática distinta. El alumno debe decidir (justificando su respuesta) si se trata o no de un movimiento ondulatorio, y además responder preguntas referidas a la propagación del mismo. Las preguntas se refieren implícitamente o explícitamente a la dependencia de la velocidad con el medio de propagación y/o al comportamiento del medio cuando

avanza el movimiento.

La situación que se presenta en el cuestionario N° 1 (ola en el estadio) no corresponde a una onda mecánica, sin embargo, presenta rasgos similares. Se trata de una buena simulación del movimiento que se genera en un medio físico cuando avanza una onda transversal. El objetivo que se persigue en este caso es averiguar las principales características de los modelos de trabajo que generan para decidir si es o no una onda mecánica. La sección I del cuestionario sería la que “activa” un modelo de trabajo, y la sección II tiene por objetivo tratar de que el alumno explicita su razonamiento sobre el mecanismo de propagación y sobre el rol que desempeña el medio físico y las propiedades elásticas del mismo a la luz del modelo construido.

Los enunciados de los cuestionarios N° 2 y N° 3 se refieren a la propagación de pulsos en una cuerda tensa y en un resorte, respectivamente. La sección I de los cuestionarios N° 2 y N° 3 tiene por objetivo que el estudiante “active” un modelo de trabajo, y que explicita además su razonamiento sobre el mecanismo de propagación y sobre el rol que desempeña el medio físico y las propiedades elásticas del mismo. La sección II de estos cuestionarios tiene por objetivo poner al alumno en la situación de tener que crear un pulso, para analizar su razonamiento acerca de las variables involucradas en la propagación del pulso y su interdependencia.

Se trabajó con un grupo de 120 alumnos de 2° año de ingeniería que cursan la asignatura Física del ciclo básico universitario, durante el proceso de instrucción en la temática de ondas mecánicas. En el momento de responder al cuestionario la situación de los alumnos era la siguiente: habían asistido a clases teóricas sobre ondas y habían trabajado en el transcurso de esa semana con resolución de problemas de tipo estándar sobre ondas en general, es decir, problemas similares a los que se encuentran al final del capítulo de ondas en textos universitarios de Física Básica. Los enunciados se distribuyeron en el grupo de 120 estudiantes, de forma tal que cada alumno responde sólo a un cuestionario, y la asignación del cuestionario para cada estudiante se realizó mediante un

procedimiento de aleatorización.

Se analizaron individualmente las respuestas del cuestionario N° 1 completo, y del ítem I de los cuestionarios N° 2 y 3, para identificar en cada caso los modelos mentales que activan frente a las distintas situaciones problemáticas, y también los elementos de los esquemas, como ser, los invariantes operatorios que ponían en juego, y las reglas de acción que podrían estar usando en su desempeño. Este análisis interpretativo fue realizado, para cada alumno, por dos investigadores en forma conjunta hasta llegar a un consenso en la interpretación y clasificación de las distintas respuestas individuales, en clases que presentaban características similares (esquemas).

Posteriormente se procesaron las respuestas al ítem II de los cuestionarios N° 2 y N° 3, a fin de obtener una caracterización de las ideas del grupo de estudiantes acerca de las variables involucradas en la creación y la propagación del pulso y su interdependencia. Se registraron los porcentajes obtenidos para cada opción, lo que permite identificar las ideas predominantes en el grupo de alumnos.

Por último, se realizó nuevamente un análisis individual de las repuestas a los cuestionarios N° 2 y N° 3: en este caso se considera el cuestionario completo (ítem I e ítem II) con el objeto de detectar algún tipo de relación entre los esquemas con que abordan el ítem I y las ideas que manifiestan en el ítem II.

Análisis e interpretación de resultados

Interpretación de las respuestas con justificación.

Una vez analizadas e interpretadas todas las respuestas al cuestionario N° 1 completo y al ítem I de los cuestionarios N° 2 y N° 3, se identifican algunos modelos de trabajo con que abordan la tarea y elementos de los esquemas, tales como reglas de acción e invariantes operatorios. A fin de consignar ejemplos, al analizar las respuestas a cada situación problemática planteada se identifica a cada estudiante con un número que va desde 1 hasta 40.

En este marco, las *reglas de acción y control* que determinan la secuencia de acciones

del sujeto, surgen de la manipulación de los *modelos mentales* para resolver la *situación*. La búsqueda de consistencia en las *predicciones* o explicaciones de esos modelos mentales es lo que determinaría la modificación de los *modelos*, y ello podría llevar eventualmente a una reestructuración de los *esquemas*, en la medida en que los sucesivos modelos generados resulten insatisfactorios, y se puedan detectar invariantes en los mismos durante ese proceso.

Con respecto al trabajo de inferencia de los modelos mentales, coincidimos con Borges (1999) en que “no hay modos de conocer objetivamente los modelos mentales de otras personas, y solo podemos hablar de nuestra propia concepción de los modelos mentales usados por otros”. En este sentido, se infieren las características principales (a criterio de los investigadores) de los modelos mentales que estarían usando los alumnos, a partir del análisis de sus respuestas y su desempeño frente al problema.

Lo que se presenta en lo sucesivo como modelos mentales o modelos de trabajo corresponde a un “modelo de onda del alumno” que los investigadores infieren a partir del análisis detallado de las respuestas de cada estudiante a la situación problemática planteada. Al leer las respuestas de un determinado alumno, surge la pregunta ¿cómo concibe este alumno la propagación de una onda? Luego de un análisis exhaustivo de sus respuestas y los razonamientos puestos en juego, y de llegar a un consenso entre los investigadores, se rescata un “modelo de onda” del alumno, representación que reúne las características principales de lo que el marco teórico denomina modelo mental o modelo de trabajo.

Los modelos de trabajo que se presentan, ya se habían detectado en investigaciones anteriores con alumnos secundarios y universitarios (Utges y Pacca, 1998; Bravo y Pesa, 2002), habiéndose demostrado también que un mismo alumno puede usar modelos diferentes según la situación física que se le presenta (Bravo y Pesa, 2002). Esta característica de funcionalidad, sumada a otras características que evidencian los mismos, propias de los modelos mentales como el hecho de ser in-

completos y “no científicos”, nos permite catalogarlos como tales.

Un esquema en cambio, implica una organización, una estructura en la memoria de largo plazo, constituida por varios elementos (conocimiento en acción, reglas de acción, etc.). En este sentido, el análisis de las respuestas permite identificar elementos de los esquemas en relación al modelo de trabajo que están usando. Consideramos que una descripción más completa del esquema como estructura implica la construcción de nuevos instrumentos y una metodología de abordaje múltiple. En lo sucesivo entonces, lo que se consigna como esquema no representa una descripción completa del esquema en sí, sino una descripción parcial de esa estructura, a través de la identificación de los invariantes operatorios que guiarían la construcción de un determinado modelo, las reglas de acción puestas en juego y las consecuencias que se derivarían del uso de ese modelo.

Esquema A

Se encuentran dos variantes de este esquema designados como A_1 y A_2 respectivamente, ambos centrados en aspectos perceptuales.

Esquema A_1

Conceptos-en-acción: forma sinusoidal, desplazamiento, partículas, “efecto de onda”, oscilación, coordinación.

Teorema-en-acción: “la onda tiene forma sinusoidal”, “en una onda transversal las partículas tienen movimiento oscilatorio”, “el movimiento de las partículas en una cuerda es una ilustración del movimiento ondulatorio”,



modelo mental o modelo de trabajo: arreglo de partículas que suben y bajan en forma sincronizada de tal manera que en su movimiento forman una figura sinusoidal

Este modelo de trabajo podría determinar algunas reglas de acción para el desempeño de la tarea, como por ejemplo:

- un mecanismo de comparación: si la “forma” del movimiento en la situación presentada es similar a la del modelo mental entonces es una onda,

- búsqueda de analogías: cada persona se comporta como una partícula de una cuerda

Este modelo de trabajo se detecta solamente en el cuestionario N° 1 (ola en el estadio), y está centrado en un aspecto perceptual: la imagen visual de una figura senoide en movimiento. Esta figura en movimiento sería un significativo fuerte en la construcción de su concepto de onda, pero el agregado de algunos conceptos nuevos adquiridos durante la instrucción (partículas, oscilación) aportaría elementos para centrar la atención en las oscilaciones particulares. A pesar de ello, la ausencia en este esquema de los conceptos de propagación, medio físico de propagación, y propiedades de elasticidad, les impide centrar la atención en la “discontinuidad” que se presenta en la situación problemática, manifestando dificultades para explicar el mecanismo de propagación. Este mecanismo se interpreta desde su modelo, considerando que está basado en la coordinación de los movimientos particulares, y que el medio de propagación es el conjunto de entes individuales (personas, partículas), o algún otro elemento de la situación (como el aire o la tribuna) que “contiene” a estos entes individuales.

Ejemplos (cuestionario N° 1):

• Alumno 5:

I - “*Sí se la puede considerar un movimiento ondulatorio porque al levantarse y pararse el grupo de personas muestran una onda y producen un efecto de onda*”

II - a) “*la perturbación se traslada por la precisión que tiene el grupo de personas, es decir, el tiempo correcto que usan para levantarse y sentarse*”

b) “*el medio de propagación es el aire*”

c) “*no se propaga energía porque la energía total es cero*”

d) “*el tiempo que demora la perturbación en llegar al otro extremo depende de la velocidad que tenga la onda*”

• Alumno 1:

I - “*Sí, cada persona es una partícula, se levantan y bajan formando algo así (dibujo de una senoide)*”

II - a) “*se traslada porque el movimiento se va repitiendo en cadena, sucede uno a continuación del otro*”

b) “*el medio de propagación serían las personas en el estadio*”

c) “*Sí se propaga energía porque el desplazamiento tiene cierta velocidad*”

d) “*el tiempo que demora la perturbación en llegar al otro extremo depende de la velocidad con que se desplace*”

Esquema A₂

Conceptos-en-acción: forma sinusoidal, desplazamiento, partículas, propagación, oscilación.

Teorema-en-acción: “la onda tiene forma sinusoidal”, “en una onda transversal las partículas tienen movimiento oscilatorio”, “el movimiento de las partículas en una cuerda es una ilustración del movimiento ondulatorio”.



modelo mental o modelo de trabajo: figura o forma de aspecto senoide que se desplaza (se traslada). A medida que la figura avanza las partículas de la cuerda vibran con un movimiento armónico simple.

Este modelo de trabajo aparece solamente en el cuestionario N° 2. El modelo también está centrado en un aspecto perceptual: la imagen visual de una forma senoide que avanza. Representa una variante del esquema A₁, en el siguiente aspecto: el esquema A₁ no considera la propagación, centra su atención en la forma y en los movimientos particulares, mientras que el esquema A₂ tiene una visión más general, centra su atención en los movimientos globales del medio físico visualizando así un desplazamiento de la “forma de onda”, una especie de propagación.

Al igual que en el esquema A₁, la “forma” que se desplaza sería un significativo fuerte en la construcción del concepto de onda, y el agregado de algunos conceptos nuevos que se adquieren en la instrucción (partículas, oscilación, propagación, movimiento armónico, energía, etc.) les permitiría a los estudiantes centrar la atención en las oscilaciones particulares cuando intentan explicar el mecanismo de propagación. También se observa en este esquema la ausencia de los conceptos referidos al medio de propagación, y a las propiedades de elasticidad del mismo.

Este modelo de trabajo podría determinar algunas *reglas de acción* para abordar la tarea, como por ejemplo, un mecanismo de comparación: si el movimiento que perciben en la situación presentada es similar a la del modelo mental entonces es una onda. Esta *regla de acción* sugiere que un significativo fuerte sería la figura que se desplaza, a la que van anexando como hipótesis ad-hoc algunos elementos del modelo científico.

Ejemplos (cuestionario N° 2):

• Alumno 40:

- I - a) "Sí se la puede considerar un movimiento ondulatorio porque se desplaza una onda a lo largo de la cuerda"
 b) "con un movimiento armónico simple"
 c) "No sé por qué se traslada esa perturbación"
 d) "No, la energía se propaga sólo en la partícula que vibra"
 e) "de la frecuencia de la onda"

• Alumno 4:

- I - a) "Sí, pues la onda viaja a lo largo de la cuerda"
 b) "para producir un pulso debo agarrar la punta de la cuerda, levantarla y volverla a su lugar de inicio, sólo una vez. Para hacer una sucesión de pulsos debo realizar varias veces el proceso descrito anteriormente"
 c) "Sí se propaga energía porque al mover la cuerda, las partículas de la cuerda reciben energía, la cual se traslada al otro lado de la cuerda, produciendo los pulsos"

Esquema B

Conceptos-en-acción: amplitud, período, frecuencia, ángulo de fase, longitud de onda, velocidad de propagación, gráfica sinusoidal.

Teoremas - en - acción: "la expresión $y = A \sin(\omega t - kx + \delta)$ representa una onda", "la gráfica de $y = A \sin(\omega t - kx + \delta)$ tiene la forma de una onda", "la velocidad depende de la longitud de onda y frecuencia según $v = \lambda f$ ", "una onda tiene movimiento periódico".



modelo mental: Se los puede describir como un estado intermedio, una hibridación de conocimiento intuitivo y conocimiento formal. No se establece una jerarquía de conceptos.

Este modelo es más difícil de caracterizar, ya que depende de la cantidad de invariantes operatorios disponibles en sus esquemas, y de cuáles aspectos de la situación le resultan más significativos, aunque en general está presente la "figura sinusoidal" o la "forma de onda", pero de modo más abstracto, a través de las representaciones gráficas. El aspecto visual de la situación presentada aparece ahora como un aspecto secundario, a través de las representaciones gráficas de las ecuaciones que describen el movimiento.

A pesar de que manejan, en general, mayor cantidad de invariantes operatorios que en el modelo anterior (A_1 ó A_2), no consideran a ninguno de ellos como relevante para caracterizar un movimiento ondulatorio (no parecen asignarle jerarquía a los conceptos). Se infiere también la ausencia en este esquema de los conceptos de medio físico de propagación y propiedades de elasticidad. Este hecho, en el caso del cuestionario N° 1, les impide centrar la atención en la "discontinuidad" que se presenta en la situación problemática, manifestando dificultades para explicar el mecanismo de propagación. Este mecanismo de propagación es interpretado desde su modelo, considerando que está basado en la coordinación de los movimientos particulares, y considerando que el medio de propagación es el conjunto de entes individuales (personas, partículas), o algún otro elemento de la situación (como el aire o la tribuna) que "contiene" a estos entes individuales, pero que no implica una conexión entre éstos.

Una regla de acción generada por este modelo sería la búsqueda e identificación en la situación problemática de alguna/s variable/s relacionada/s con la descripción de las ondas para decidir si es o no un movimiento ondulatorio.

Ejemplos de esquema B (cuestionario N° 1):

• Alumno 23

I - "Se puede considerar el movimiento como ondulatorio si es periódico, es decir, a un mismo intervalo de tiempo repite su movimiento, y donde la posición en función del tiempo describe una onda sinusoidal"

II - a) "la perturbación se traslada porque existe un medio de propagación"

b) "el medio de propagación serían las manos de la gente"

c) "sí, tanto cinética como potencial"

d) "depende del medio de propagación y de su frecuencia"

• Alumno 19

I- "Sí, porque puedo medir el tiempo que tarda la ola en dar una vuelta al estadio, así podría calcular su frecuencia, y si considero que ese movimiento se hace indeterminadamente su ecuación sería la de un MAS"

II- a) "el mecanismo es que las personas se paren y sienten en un período de tiempo"

b) "el aire"

c) "sí se propaga energía porque hay movimiento de partículas"

d) "el tiempo depende del diámetro del estadio"

• Alumno 29

I- "No es una onda, es desorganizado. Varían los períodos y la frecuencia"

II- a) "No. Porque no es lo mismo"

b) "porque se intenta hacer un movimiento periódico"

c) "sí hay transferencia de energía"

d) "el tiempo depende de cuán seguido levante los brazos una persona de la que tiene antes"

Ejemplos de esquema B (cuestionario N° 2):

• Alumno 17

I- a) "Sí, lo que se genera en el gráfico es una perturbación armónica simple"

b) "las partículas se mueven verticalmente produciendo una perturbación"

• Alumno 18

I- a) "Sí, pues en un extremo produzco una velocidad que se propaga a lo largo de la cuerda"

b) "moviendo el extremo de la cuerda hacia arriba y hacia abajo"

c) "el choque entre las partículas"

d) "no, porque la energía de cada partícula se conserva y por lo tanto no entrega energía a otra"

e) "de la frecuencia angular"

• Alumno 22

I - a) "Se puede considerar que se trata de un movimiento ondulatorio: el movimiento de la mano es un MAS"

Ejemplos de esquema B (cuestionario N° 3):

• Alumno 27

I - a) "Sí, porque tiene una frecuencia de oscilación y una amplitud"

b) "moviendo la mano"

c) no contesta

d) "sí"

e) "de la amplitud de la onda"

• Alumno 28

I- a) "Sí, porque es un movimiento periódico"

b) "se puede producir una perturbación longitudinal estirando el resorte y dejando en movimiento de manera que la onda se desplace a través del resorte"

c) "El mecanismo que hace posible que el pulso se traslade es que se le aplica una fuerza que cambia su estado natural"

d) "Sí, de un punto a otro hay una transformación constante de energía ya que pasa de energía puramente cinética o energía potencial elástica, mientras que se mantiene constante la energía mecánica"

e) "de la velocidad con que se propaga el pulso, a su vez la velocidad dependerá de la fuerza con la que se produzca el pulso"

Esquema C

Se detectan dos variantes de este esquema, designados como C_1 y C_2 respectivamente, según el grado de complejidad cognitiva que presentan.

Esquema C_1

Conceptos-en-acción: propagación, transmisión, medio material, forma, ondulación, movimiento, partículas de una cuerda, movimiento oscilatorio de cada partícula, coordinación.

Teorema-en-acción: Onda implica propagación. El medio físico permite la transmisión.



modelo mental: partículas que se mueven coordinadamente hacia arriba y hacia abajo a medida que avanza la propagación.

Este modelo de trabajo también está centrado en un aspecto perceptual: la imagen de una forma ondulada que avanza por un medio físico. Aparecen además, en forma explícita, los conceptos de transmisión o propagación y medio de propagación, pero no se considera ni

quiera en forma implícita, la continuidad del medio de propagación. También podemos considerar, al igual que en los modelos A_1 y A_2 , que a partir de otros conceptos en acción disponibles en sus esquemas tales como partículas u oscilación, pueden realizar un análisis microscópico de la situación, pero siempre en función de explicar el aspecto perceptual: la forma ondulada que avanza por el medio de propagación.

Una regla de acción generada por este modelo sería verificar la existencia de un medio de propagación, o la existencia de una transmisión en la situación presentada para considerarla una onda. Este hecho sugiere que están asignando una especie de jerarquía a sus conceptos en acción. En efecto, no basta identificar la existencia de movimiento de partículas o la existencia de un período, sino que la exigencia es mayor: debe haber una propagación (no siempre se explicita de qué) por algún medio físico, aunque no consideren la continuidad del mismo.

Ejemplos de esquema C_1 (cuestionario N° 1):

• Alumno 26

I - "Si se puede considerar que es un movimiento ondulatorio porque una onda necesita un medio para propagarse, y el medio en el que se propaga esta onda es la gente"

II - a) "la perturbación se traslada porque la gente se comporta como un medio en el cual viaja la onda"

b) "para mí, el medio de propagación en el cual se traslada la onda es la gente"

c) "sí hay propagación de energía"

d) "el tiempo que demora la perturbación en llegar al otro extremo depende de la velocidad de ésta"

• Alumno 25

I - "Sí es una onda, porque al existir una ola en un estadio de fútbol, las personas son las que producen un movimiento transversal a la ola, y lo que se traslada es la energía, no las personas"

II - a) no contesta

b) "el medio de propagación son las manos"

c) "sí se propaga energía"

d) "el tiempo depende de la velocidad de propagación de la onda"

Esquema C_2

Conceptos-en-acción: propagación, transmisión, energía, medio material continuo, estímulo, movimiento, coordinación, partículas de una cuerda, movimiento oscilatorio de cada partícula.

Teorema-en-acción: Onda implica propagación. La discontinuidad entre las partículas impide la propagación de algún estímulo. La onda se propaga por choque (o contacto) entre las partículas.



modelo mental: medio material continuo, cuyas partes se mueven coordinadamente hacia arriba y hacia abajo a medida que avanza la propagación.

En este modelo de trabajo aparecen, como un aspecto central, el concepto de transmisión o propagación (de energía o de una perturbación) y el concepto de medio de propagación. Estos alumnos tienen más desarrollado su concepto de medio de propagación. En efecto, si bien no mencionan propiedades de elasticidad, aparece la idea de que la propagación de la energía depende de una "conexión" o "contacto" entre las partículas. La propagación estaría relacionada de alguna manera con el medio de propagación y sus propiedades de elasticidad. Este modelo es el que presenta la mayor complejidad cognitiva, entre los modelos detectados.

En el caso del cuestionario N° 1, el uso de este modelo permite identificar una condición necesaria para que se produzca la propagación de un estímulo, y encuentra una *regla de acción* eficaz para resolver la tarea: verificar la existencia de una continuidad en la situación presentada para aceptarla o no como movimiento ondulatorio.

En el caso de los cuestionarios N° 2 y N° 3, una *regla de acción* generada por este modelo sería verificar la existencia de una transmisión o propagación en la situación presentada para considerarla una onda. Este hecho sugiere que están asignando una especie de jerarquía a sus conceptos en acción. En efecto, no basta identificar en la situación problemática la oscila-

ción de las partículas, sino que la exigencia es mayor: debe haber una propagación de energía por algún medio físico.

Ejemplos de esquema C₂ (cuestionario N° 1):

• Alumno 18:

I- “No es una onda, debido a que aunque describe un movimiento de este tipo, este medio no responde a ningún estímulo físico que produzca dicha reacción”

II- a) “la analogía que existe es debida al movimiento descripto”

b) “se podría decir que el movimiento se traslada por una decisión de las personas que están en el estadio y que de alguna manera describen un medio”

c) “no existe otra transferencia, más allá de la emoción”

d) “el tiempo en llegar al otro extremo depende de la reacción y de la disposición de las personas para realizarlo”

• Alumno 15:

I- “No es una onda, debido a que, si bien las partículas se mueven, la energía no se transporta”

II- a) “el movimiento de propagación de una onda es igual al producido por la gente al levantarse”

b) “el movimiento se traslada debido a que la gente lo hace por costumbre, no se ve obligada, en cambio las partículas en una onda no tienen opción”

c) “aparente, emociones, saltos...vibración....energía”

d) “de la velocidad con que la gente se levante. ¡del medio! ¡de la gente!”

• Alumno 32

I- “no es una onda, físicamente no hay transmisión de ningún tipo de esfuerzo. Se simula transmitiendo la orden de que se levante el próximo”

II - a) “hay una analogía, ya que en un movimiento ondulatorio se transmiten los esfuerzos a los puntos cercanos, y en la ola humana se contagian las voluntades de levantarse, viendo a los compañeros”

b) “el movimiento se traslada mientras haya voluntad de continuar, y porque entre espectadores vecinos existe un retardo”

c) “no, sólo transferencia de algarabía”

d) “la velocidad depende de la capacidad o tiempo de reacción del espectador frente al estímulo del vecino”

Ejemplos de esquema C₂ (cuestionario N° 2):

• Alumno 12

I- a) “Se produce una perturbación que transporta energía y produce la propagación de la onda en el medio”

b) “una perturbación igual a la del gráfico se produce

cuando por ejemplo tiramos una piedra al agua”

c) “lo que permite la traslación de la perturbación es el choque constante entre las moléculas producido por una fuerza que actúa en forma paralela o perpendicular, según el caso”

d) “sí se propaga energía desde un punto a otro de la cuerda porque al haber choques entre las partículas, también hay transmisión de energía”

e) “el tiempo que demora el pulso en llegar al extremo de la cuerda depende del número de onda y de la frecuencia angular”

• Alumno 25

I- a) “Sí se trata de un movimiento ondulatorio porque en el movimiento se transporta energía y no materia”

b) “tensionando una cuerda y haciendo un movimiento vertical ascendente y descendente”

c) “porque una partícula le transmite su energía a la siguiente”

d) “sí se transmite energía, mejor dicho es lo único que se transmite, el motivo, no lo recuerdo”

e) “depende de la longitud de la cuerda y la tensión”

Ejemplos de esquema C₂ (cuestionario N° 3):

• Alumno 19

I- a) “Sí, ya que al producir una perturbación en un extremo del resorte, luego de un tiempo llega la misma perturbación al otro extremo”

b) “haciendo una ida y vuelta de la mano”

c) “ya que existe un medio material por el cual se puede trasladar”

d) “sí”

e) no contesta

• Alumno 36

I- a) “Sí, se trata de un movimiento ondulatorio porque hay una onda que se está propagando por el resorte en forma de energía”

b) “se puede hacer una perturbación longitudinal que se traslade por el resorte, moviendo la mano”

c) “porque hay variación de energía a lo largo del resorte”

d) “no hay transporte de energía porque no hay transporte de materia”

e) “depende del medio en el que se esté transportando y de la velocidad inicial del pulso”

Análisis de respuestas sin justificación

A continuación se analizaron las respuestas al ítem II de los cuestionarios N° 2 y N° 3, tan-

to en forma individual como general. Se presentan a continuación en los cuadros N° 1 y N° 2 los resultados generales obtenidos en el grupo de trabajo, para ambos cuestionarios.

Cuadro N° 1. Porcentajes de respuestas en las distintas opciones del cuestionario N° 2

	SI	NO	No sé
a) ¿Cómo podría aumentar la velocidad de propagación del pulso?			
1- moviendo más rápido la mano	55%	30%	3%
2- cambiando la cuerda por otra del mismo material pero de mayor grosor	37%	40%	12%
3- tensando más la cuerda	57%	17%	12%
4- produciendo un pulso de mayor amplitud	15%	62%	10%
b) Si aumento la amplitud de la perturbación:	SI	NO	No sé
1- aumenta la energía que se propaga	48%	22%	15%
2- aumenta la velocidad de propagación del pulso	17%	68%	2%
3- cambia el ancho del pulso que se propaga	35%	8%	17%
4- aumenta el tiempo que demora un punto cualquiera de la cuerda, en subir y bajar	62%	17%	10%
c) Si muevo más rápido la mano para producir el pulso, pero manteniendo la amplitud del mismo:	SI	NO	No sé
1- ¿cambia la energía que se propaga?	45%	32%	8%
2- ¿cambia la velocidad de propagación?	48%	30%	12%
3- ¿cambia el ancho del pulso que se propaga?	38%	43%	10%

Cuadro N° 2. Porcentajes de respuestas en las distintas opciones del cuestionario N° 3

	SI	NO	No sé
a) ¿Cómo podría aumentar la velocidad de propagación del pulso?			
1- moviendo más rápido la mano al producir la compresión del resorte	60%	34%	6%
2- aumentando la amplitud de la compresión inicial para producir el pulso	26%	54	6%
3- cambiando el resorte por otro más blando	17%	37%	20%
4- estirando un poco más el resorte antes de enviar el pulso	15%	20%	30%
b) ¿ Qué ocurre si aumento la amplitud de la perturbación inicial?	SI	NO	No sé
1- aumenta la energía que se propaga	49%	8%	26%
2- aumenta la velocidad de propagación del pulso	38%	51%	3%
3- cambia el ancho del pulso que se propaga	51%	18%	15%
4- aumenta el tiempo que demora una espira cualquiera del resorte en ir y volver de su posición de equilibrio	43%	35%	12%
c) Si se quiere aumentar el ancho del pulso que se propaga en el resorte:	SI	NO	No sé
1- ¿se debería mover más rápido la mano para producir el pulso?	28%	48%	14%
2- ¿se debería cambiar el resorte por otro más “duro”?	11%	37%	34%
3- ¿se debería efectuar una mayor compresión para producir el pulso?	60%	20%	8%

Los resultados generales para ambos cuestionarios (pulso en una cuerda y pulso en un resorte) son coincidentes en los siguientes aspectos:

- aproximadamente el 50% de los alumnos asocia una mayor velocidad de propagación con una mayor “rapidez” con la cual se genera el pulso, y en menor medida (aproximadamente 20%) con una mayor amplitud de la perturbación;
- aproximadamente el 50% de los alumnos asocia una mayor energía con una mayor amplitud del pulso y una mayor “rapidez” de movimiento de la mano para producirlo;
- aproximadamente el 40% de los alumnos considera en forma correcta la dependencia de la velocidad de propagación con las características físicas del medio de propagación.

Se observa una discrepancia en los resultados obtenidos para ambas situaciones:

- el porcentaje de respuestas que asocian una mayor velocidad de propagación con una mayor tensión es alto (60%) para el caso de la cuerda, en cambio, es más bajo (15%) para el caso del pulso en un resorte.

Este análisis general revela entonces un núcleo de dificultad bastante arraigado: la asociación de la velocidad de propagación del pulso con las características de generación del mismo (amplitud y “rapidez”). Pero también se observan aspectos coincidentes con el modelo científico del movimiento ondulatorio, como la asociación de la energía del pulso con estas características de generación (amplitud y “rapidez”) y la asociación de la velocidad de propagación con las características físicas del medio (resorte más blando o cuerda más gruesa).

El análisis individual de las respuestas a los cuestionarios completos no muestra una relación directa de las dificultades mencionadas, con el tipo de modelo que usan para responder al ítem I. Es decir que un alumno que usa un esquema clasificado como C_2 (considerado de mayor desarrollo cognitivo) para responder al ítem I, luego usa un razonamiento perceptual en su trabajo con el ítem II y asocia la

velocidad de propagación con una mayor “rapidez” para producir el pulso. Al tratarse de respuestas sin justificación no se puede avanzar con una mayor profundidad en el análisis individual de las respuestas.

Conclusiones

El análisis de las respuestas desde el marco de referencia permite interpretar algunas dificultades en el aprendizaje de fenómenos ondulatorios mecánicos en función de la estructura del razonamiento que estarían usando para resolver la tarea, y en particular, las dificultades asociadas a la comprensión del rol del medio de propagación de una onda, y de las propiedades elásticas del mismo como determinantes de la velocidad de propagación.

Los esquemas detectados en el análisis de las respuestas permiten realizar una clasificación de los mismos según el grado de comprensión conceptual.

El esquema A (A1 o A2) es más bien perceptual, el significante fuerte sería la imagen visual de una figura senoide en movimiento, con el agregado de algunos conceptos adquiridos durante la instrucción con los cuales intentan dar una explicación del mecanismo de propagación.

El esquema B ya muestra una cantidad importante de conceptos en acción, pero sin ningún tipo de jerarquía o relación entre ellos. No discriminan en este caso cuáles conceptos describen movimientos localizados ni cuáles describen movimientos globales del medio de propagación, y se detecta la ausencia de conceptos relacionados con las propiedades de elasticidad del medio de propagación. Permanece como un aspecto importante la figura senoide, pero de modo más abstracto (ya no como una imagen visual) a través de las ecuaciones que describen el movimiento.

El esquema C1 reconoce como significante fuerte un aspecto importante del modelo ondulatorio científico: el medio de propagación. Pero este concepto no está aún muy elaborado ya que no exige la continuidad del mismo para que se produzca la propagación, lo que indica que no están presentes ni siquiera en for-

ma implícita, las propiedades de elasticidad del mismo.

El esquema C2 se podría considerar el más evolucionado, el que tiene una mayor comprensión conceptual: el concepto de medio físico de propagación es más completo, incluye la exigencia de continuidad del mismo, lo que sugiere que está implícita la idea de elasticidad.

El desempeño del grupo de 120 estudiantes frente a las distintas situaciones problemáticas planteadas se puede resumir de la siguiente manera:

En los casos de la **ola en el estadio** y la propagación de un **pulso en una cuerda tensa** aparecen tres modelos, que van evolucionando desde uno centrado en aspectos perceptuales (A) con algún grado de hibridación con conceptos adquiridos durante la instrucción, pasando por un modelo donde se evidencia un uso acrítico de gran cantidad de conceptos y expresiones en lenguaje simbólico adquiridos también durante la instrucción (B), hasta un modelo más cercano al modelo científico (C) que centra su atención en la propagación de energía a través de un medio físico.

En el caso de la propagación de un **pulso longitudinal en un resorte**, no se evidencia en las respuestas de los alumnos el uso de esquemas del tipo A, solamente se detectan los esquemas B y C. Es notable que en un grupo de 120 alumnos, habiendo aleatorizado la asignación de esta situación problemática, ninguno usa el esquema A para encarar la situación.

De acuerdo a lo expuesto en el párrafo anterior, una misma situación puede generar distintos modelos de trabajo. Estos modelos de trabajo o representaciones mediadoras entre la situación y el conocimiento que posee el sujeto, se construyen por interacción entre la situación presentada y los invariantes operatorios disponibles en sus esquemas. Estos invariantes operatorios determinan qué aspectos de la situación parecen relevantes y a su vez, la situación presentada guía la búsqueda de los conceptos en acción y los teoremas en acción que pueden ser útiles para resolver la tarea. En efecto, un pulso propagándose en un resorte no les brinda como información relevante la figura sinusoidal, por lo cual ninguno de estos

alumnos usa un esquema de tipo A.

Se considera que el marco teórico es potencialmente útil para el análisis del desempeño de los alumnos frente a una situación problemática, en los siguientes aspectos:

- permite describir con un grado mayor de estructuración algunas dificultades que se presentan en el aprendizaje de esta temática, es decir, en términos de esquemas, y elementos de los mismos;

- permite explicar por qué las respuestas de los alumnos son fuertemente dependientes del contexto de la tarea, al considerar que los modelos mentales son una representación mediadora entre la situación presentada y el conocimiento que posee;

- aporta indicadores para ayudar a los alumnos a superar sus dificultades a través del uso secuencial de *situaciones* apropiadas para provocar paulatinamente la reestructuración de sus *esquemas*, hacia esquemas cada vez más eficientes. En efecto, la tesis subyacente a la teoría de campos conceptuales es que un buen desempeño didáctico se basa necesariamente en el conocimiento de las dificultades de las tareas cognitivas, de los obstáculos habitualmente enfrentados, del repertorio de procedimientos disponibles y de las representaciones posibles;

- permite evaluar la potencialidad de las situaciones presentadas para generar en los estudiantes la reflexión acerca del mecanismo de propagación en relación con las propiedades elásticas del medio físico.

En esta investigación se ha detectado que la dificultad para reconocer un movimiento ondulatorio y/o explicar el mecanismo de propagación, estaría relacionada con la ausencia en sus esquemas de los conceptos de propagación, medio de propagación y propiedades elásticas del medio. A partir de estos resultados, se considera conveniente contemplar el uso de situaciones problemáticas que lleven a los alumnos a reflexionar sobre la necesidad de la "conexión" entre los elementos del medio de propagación, como punto de partida para la comprensión del mecanismo de propagación en función de las propiedades elásticas del medio físico.

Cuando se coloca al alumno en la situación

de tener que crear el pulso (ítem II de los cuestionarios N° 2 y N° 3), se han detectado núcleos de dificultad bastante arraigados, como la asociación de la velocidad del pulso que se propaga en una cuerda o en un resorte con las características de generación del mismo (amplitud y “rapidez”). Pero también se observan aspectos coincidentes con el modelo científico del movimiento ondulatorio, como la asociación

de la energía del pulso con estas características (amplitud y “rapidez”) y la asociación de la velocidad de propagación con las características físicas del medio (resorte más blando o cuerda más gruesa). Las respuestas a estos ítems no eran justificadas, lo que imposibilitó realizar un análisis que identificara elementos de los esquemas para profundizar en el estudio de sus razonamientos.

Referencias

- 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.
- Borges, T. (1999). Como evoluem os modelos mentais. *Ensaio – Pesq. Educ. Ciênc.*, 1 (1).
- Disessa, A. y Sherin, B. (1998). What changes in conceptual changes? *International Journal in Science Education*. 20.
- Eisberg, L. (1985). *Física*, Vol I, México; Mc Graw Hill.
- Greca, I. y Moreira, M. (2002). Além da detecção de modelos mentais dos estudantes. Uma proposta representacional integradora. *Investigações em Ensino de Ciências*, Porto Alegre.
- Greca, I. y Moreira, M. (2004). Integrando modelos mentales y esquemas de asimilación. ¿Un referencial posible para la investigación en enseñanza de las ciencias?. *La teoría de los Campos Conceptuales de Vergnaud, la Enseñanza de las ciencias y la investigación en el Área*. Instituto de Física. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Brasil.
- 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).
- Moreira, M. A. (1996). Modelos mentais. *Investigações em ensino de ciências*, Porto Alegre.
- Rodriguez Palmero, M. y Moreira, M. (2004). La Teoría de los Campos Conceptuales de Gérard Vergnaud. *La Teoría de los Campos Conceptuales de Vergnaud, la Enseñanza de las Ciencias y la Investigación en el Área*. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, Brasil.
- Utges, G. y Pacca, J. (1998). O que é uma onda. Um estudo sistemático do conceito procurando subsidios para o ensino. *Memorias del V Encontro de Pesquisa em Ensino da Física*, Florianópolis.
- Utges, G. Et. al (2002). La enseñanza y aprendizaje de conceptos complejos. En busca de referentes teóricos para comprender las dificultades de los estudiantes en la comprensión del concepto de onda. *Memorias del VI Simposio de Investigadores en Enseñanza de la Física*. Corrientes. Argentina.
- Vergnaud, G. (1983). Multiplicative structures. *Acquisition of Mathematics Concepts and Processes*. New York: Academic Press Inc.
- Vergnaud, G. (1990). La théorie des champs conceptuels. *Recherches en Didactique des Mathématiques*. 10 (23)
- Vergnaud, G. (1994). Multiplicative Conceptual Field: What and why?. In Gershon, H. and Confrey J (Eds.). *The development of multiplicative reasoning in the learning of mathematics*. Albany, N. Y.: State University of New York Press,
- Vergnaud, G. (1996). A trama dos campos conceituais na construção dos conhecimentos. *Revista do GEMPA* N° 4, Porto Alegre, Brasil.
- Welti, R. (2002). Concepciones de estudiantes y profesores acerca de la energía de las ondas. *Enseñanza de las Ciencias*, 20 (2).
- Wittmann, M. (1998). Making sense of How Student Come to an Understanding of Physics. An example from mechanical waves. *Tesis doctoral*. University of Maryland, EEUU.
- Wittmann, M. (2002). The objetc coordination class applied to wave pulses: analysing student reasoning in wave physics. *International Journal of Science Education*. 24 (1).

ANEXO

Cuestionario N° 1

I. Analice la siguiente situación física: *se produce una “ola” en un estadio de fútbol.*

¿Puede considerar que se trata de un movimiento ondulatorio? Justifique su respuesta, sea ésta afirmativa o negativa.

II. Seleccione **sólo una** de las dos columnas siguientes, de acuerdo a su respuesta al ítem anterior, y responda a las cuestiones que se plantean:

Si Ud. considera que SI es una onda:	Si Ud. considera que NO es una onda:
a) ¿por qué se traslada la perturbación, es decir, cuál es el mecanismo de esa traslación?	a) ¿consideras que existe alguna analogía entre esta situación física y una onda? ¿cuál/es?
b) ¿Cuál sería para Ud. el medio de propagación?	b) ¿Por qué el movimiento se “traslada” por el estadio?
c) ¿Se propaga energía en este caso? ¿Por qué?	c) ¿Hay transferencia de energía en esta situación?
d) ¿De qué depende el tiempo que demora la perturbación en llegar al otro extremo del estadio?	d) ¿De qué depende el tiempo que demora la ola en llegar al otro extremo del estadio?

Cuestionario N° 2

I - Analice la siguiente situación física: *Un pulso transversal que avanza por una cuerda tensa, sujeta en sus extremos como indica la figura:*



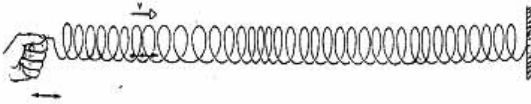
- a) ¿Puede considerar que se trata de un movimiento ondulatorio? Justifique su respuesta, sea positiva o negativa.
- b) Describa cómo se puede producir una perturbación o pulso igual al graficado. ¿y una sucesión de pulsos?
- c) ¿Por qué se traslada la perturbación, es decir, cuál es el mecanismo que permite esa traslación? Explique.
- d) ¿Se propaga energía desde un punto a otro de la cuerda? ¿Por qué?
- e) ¿De qué depende el tiempo que demora el pulso en llegar al otro extremo de la cuerda?

II – Responda a las siguientes cuestiones:

a) ¿Cómo podría aumentar la velocidad de propagación del pulso (ó de una sucesión de pulsos)?	SI	NO	No sé
1- moviendo más rápido la mano			
2- cambiando la cuerda por otra del mismo material pero de mayor grosor			
3- tensando más la cuerda			
4- produciendo un pulso de mayor amplitud			
b) ¿Qué ocurre si ahora aumento la amplitud de la perturbación inicial?	SI	NO	No sé
1- aumenta la energía que se propaga			
2- aumenta la velocidad de propagación del pulso			
3- cambia el ancho del pulso que se propaga			
4- aumenta el tiempo que demora un punto cualquiera de la cuerda, en subir y bajar			
c) Si muevo más rápido la mano para producir el pulso, pero manteniendo la amplitud del mismo:	SI	NO	No sé
1- ¿cambia la energía que se propaga?			
2- ¿cambia la velocidad de propagación?			
3- ¿cambia el ancho del pulso que se propaga?			

Cuestionario N° 3

I - Analice la siguiente situación física: Un pulso longitudinal que avanza en un resorte liviano sostenido en sus extremos como indica la figura:



- a) ¿Puede considerar que se trata de un movimiento ondulatorio? Justifique su respuesta, sea ésta afirmativa o negativa.
- b) Describa de qué manera se puede producir una perturbación longitudinal que se traslade por el resorte. ¿Y una sucesión de pulsos longitudinales?
- c) ¿Por qué se traslada la perturbación, es decir, cuál es el mecanismo que hace posible que el pulso se traslade?
- d) ¿Se propaga energía desde un punto a otro del resorte? ¿Por qué?
- e) ¿De qué depende el tiempo que demora la perturbación en llegar al otro extremo del resorte?

II – Responda a las siguientes cuestiones:

¿Cómo podría aumentar la velocidad de propagación del pulso?	SI	NO	No sé
moviendo más rápido la mano al producir la compresión del resorte			
aumentando la amplitud de la compresión inicial para producir el pulso			
cambiando el resorte por otro más blando			
estirando un poco más el resorte antes de enviar el pulso			

¿Qué ocurre si aumenta la amplitud de la perturbación inicial?	SI	NO	No sé
aumenta la energía que se propaga			
aumenta la velocidad de propagación del pulso			
cambia el ancho del pulso que se propaga			
aumenta el tiempo que demora una espira cualquiera del resorte en ir y volver de su posición de equilibrio			

Si quiere aumentar el ancho del pulso que se propaga en el resorte:	SI	NO	No sé
¿debería mover más rápido la mano para producir el pulso?			
¿debería cambiar el resorte por otro más “duro”?			
¿debería efectuar una mayor compresión para producir el pulso?			