

# ESQUEMAS Y MODELOS DE ALUMNOS UNIVERSITARIOS SOBRE PROPAGACIÓN DE ONDAS MECANICAS

**BRAVO, SILVIA y PESA, MARTA**

Departamento Física. Facultad Ciencias Exactas y Tecnología. Universidad Nacional de Tucumán  
Avenida Independencia 1800 – (4000) Tucumán, Argentina

---

## OBJETIVOS

El objetivo de este trabajo es profundizar el análisis de las representaciones y razonamientos asociados con el rol del medio de propagación en el movimiento ondulatorio que emplean alumnos universitarios del ciclo básico de carreras de ingeniería, desde un marco referencial que articula los esquemas de Vergnaud con los modelos mentales de Johnson-Laird.

Se retoman dificultades detectadas en investigaciones anteriores (Bravo, Pesa 2002) y se sistematiza y enriquece su interpretación mediante el abordaje de 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?
- ¿Cómo influyen las características perceptuales de los fenómenos analizados, en las representaciones construidas por los estudiantes?

## MARCO TEÓRICO

**Teoría de Campos Conceptuales.** Es una teoría cognitivista que permite analizar cómo se organizan las ideas y se generan los conceptos y representaciones. Los **campos conceptuales** son grandes conjuntos de situaciones y problemas, cuyo análisis y tratamiento requiere diversas clases de conceptos, procedimientos y representaciones simbólicas interconectados entre sí.

Una **situación** se refiere a eventos de la realidad, a situaciones cognitivas (producidas en la escuela o en la vida diaria) que implican acción, ya sea procedimental o declarativa. En este referencial, el comportamiento ante una situación dada está dirigido por “**esquemas**” que generan una secuencia de acciones dependientes de los parámetros de la situación. Vergnaud (1996) define un **esquema** como “*totalidad organizada que permite generar una clase de comportamientos diferentes en función de las características particulares de cada situación*”.

En general, los **esquemas** pueden contener (Vergnaud 1994): **metas y anticipaciones** que permiten identificar situaciones, **invariantes operatorios (conceptos-en-acción y teoremas-en acción)** mediante los cuales el sujeto reconoce los elementos pertinentes de la situación y la información relevante de la misma, **reglas de acción** del tipo “si...entonces” que permiten generar un secuencia de acciones, e **inferencias** o razonamientos que se efectúan durante la actividad del sujeto frente a la situación. Los **conceptos-en-acción** y los **teoremas-en-acción** son los elementos cognitivos que determinan la activación de los esquemas. Tienen un status diferentes a los conceptos y teoremas científicos, ya que un concepto-en-acción no es necesariamente un concepto científico ni un teorema-en-acción un principio científico. Los **conceptos en acción** son cate-

gorías para obtener información relevante y los **teoremas en acción** son proposiciones a partir de las cuales se hacen inferencias (Vergnaud 1994). Tienen características diferentes: los teoremas en acción pueden ser verdaderos o falsos, mientras que los conceptos en acción solo pueden ser relevantes o irrelevantes. Las **reglas-de-acción** también son proposiciones, que expresan algo acerca de la conveniencia de las acciones que pueda tomar el sujeto (Vergnaud 1996).

Moreira (1996), en base a la teoría de Johnson-Laird, considera que las personas usan en su razonamiento **modelos mentales** o “modelos de trabajo” que les permiten explicar y hacer previsiones respecto al sistema físico representado. Serían estructuras cognitivas idiosincrásicas, determinadas y concretas, que se activan en la memoria de trabajo del sujeto que quiere comprender, explicar o predecir una situación.

**Propuesta integradora.** Greca y Moreira (2002) discuten algunas limitaciones de las teorías sobre modelos mentales, y proponen integrar los modelos mentales en un marco más amplio tomando elementos de la teoría de campos conceptuales de Vergnaud. 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.

Las inferencias ocurrirían en los modelos mentales y no en los esquemas. Discrepan así con Vergnaud en cuanto a 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. Consideran los esquemas, los teoremas en acción y 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. 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.

## METODOLOGÍA

Se usan tres cuestionarios (Apéndice). 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.

Se trabaja con un grupo de 120 alumnos (2º año de ingeniería) que cursan la asignatura Física básica, durante el proceso de instrucción en la temática de ondas mecánicas. Los enunciados se distribuyen mediante un proceso de aleatorización.

Se analizan individualmente las respuestas, para identificar en cada caso los modelos mentales activados frente a las distintas situaciones problemáticas, y también los elementos de los esquemas: invariantes operatorios y reglas de acción.

## ANÁLISIS E INTERPRETACION DE RESULTADOS

### Esquema A.

<p><b>Conceptos-en-acción:</b> forma sinusoidal, desplazamiento, partículas, “efecto de onda”, oscilación, coordinación. <b>Teoremas-en-acción:</b> “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”,</p>
--



**modelo de trabajo:** arreglo de partículas que suben y bajan en forma sincronizada de tal manera que en su movimiento forman una figura senoide que se desplaza.

Este modelo está centrado en un aspecto perceptual: la imagen visual de una figura sinusoidal en movimiento. Esta figura sería un significante fuerte en la construcción del 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. La ausencia de los conceptos de propagación, medio físico de propagación, y propiedades de elasticidad, explicaría las dificultades que manifiestan para explicar el mecanismo de propagación.

Algunas reglas de acción para el desempeño de la tarea serían:

- una regla de comparación: si la “forma” del movimiento en la situación presentada es similar a la del modelo mental si es una onda.
- la búsqueda de analogías: cada persona se comporta como una partícula de una cuerda

### 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  $v = \lambda \cdot f$ ”, “una onda tiene movimiento periódico”.



**modelo de trabajo:** hibridización de conocimiento intuitivo y conocimiento formal, sin jerarquía de conceptos.

Este modelo es difícil de caracterizar, depende de la cantidad de invariantes operatorios disponibles en los esquemas y de cuáles aspectos de la situación le resultan más significativos. En general está presente la “figura sinusoidal” o la “forma de onda” pero de modo más abstracto, como un aspecto secundario, a través de las representaciones gráficas de las ecuaciones que describen el movimiento. Se detectan más invariantes operatorios que en el modelo anterior, pero ninguno de ellos aparece como relevante para caracterizar un movimiento ondulatorio y también se infiere la ausencia de los conceptos de medio físico de propagación y propiedades de elasticidad.

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.

### Esquema C

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

En este modelo aparecen como un aspecto central, los conceptos de transmisión o propagación y medio de propagación. 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.

En el caso de la “ola en el estadio” el modelo identifica 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 la propagación de un “pulso por una cuerda tensa”, o por un “resorte”, 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.

## CONCLUSIONES

Los esquemas detectados permiten realizar una clasificación de los mismos según el grado de comprensión conceptual:

- A: basado en la percepción, el significante fuerte del concepto de onda sería la imagen visual de una figura senoide en movimiento, con el agregado de algunos conceptos adquiridos durante la instrucción. Se infiere la ausencia de los conceptos de medio físico de propagación y propiedades de elasticidad.
- B: muestra gran cantidad de conceptos en acción sin ningún tipo de jerarquía o relación entre ellos, y se detecta la también la ausencia de los conceptos de medio físico de propagación y propiedades de elasticidad.
- C<sub>2</sub>: es el de mayor comprensión conceptual. Aparecen como aspecto central los conceptos de propagación y medio físico de propagación, e incluye la exigencia de continuidad del mismo.

Considerando que los 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 teoremas en acción que pueden ser útiles para resolver la tarea, una misma situación puede entonces generar distintos modelos de trabajo, pero también puede ser determinante para el uso de un determinado modelo por parte de los alumnos. En efecto, en los casos de la “ola en el estadio” y la propagación de un “pulso en una cuerda tensa” se detecta el uso de los tres tipos de modelos descriptos. Sin embargo, 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.

A la luz de este marco teórico:

- se detecta 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 sus propiedades elásticas. Sería entonces 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.
- se describe con mayor estructuración las dificultades en el aprendizaje de esta temática,
- se explica por qué las respuestas de los alumnos son fuertemente dependientes del contexto de la tarea, al considerar a los modelos mentales como una representación mediadora entre la situación presentada y el conocimiento que posee,
- se aportan indicadores para ayudar a los alumnos a superar sus dificultades, a través del uso secuencial de situaciones capaces de provocar paulatinamente la reestructuración de sus esquemas. 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 en las tareas cognitivas, de los obstáculos habitualmente enfrentados, del repertorio de procedimientos disponibles, y de las representaciones posibles.

## BIBLIOGRAFÍA

- BRAVO S., PESA M. (2002), Fenómenos ondulatorios: Modelos y razonamientos de estudiantes universitarios. *Mem. VI Simp. Investig. Ens. Física, Argentina*.
- GRECA I., MOREIRA M. (2002), Alè m da detecção de modelos mentais dos estudantes. Uma proposta representacional integradora, *Investig. em ensino de cs.*, 7(1).
- MOREIRA M. A. (1996), Modelos mentais, *Investig. em ensino de ciências*, 1(6).

VERGNAUD G. (1994), *Multiplicative Conceptual Field: What and why*, Ghershon and Jere Edit. St. Univ. of New York Press,  
 VERGNAUD G. (1996), A trama dos campos conceituais na construção dos conhecimentos, *Revista do GEMPA*, N° 4, Brasil.

## APÉNDICE

### 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.

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

### Cuestionario N° 2

**I - Un pulso avanza por una cuerda tensa, sujeta en sus extremos.**



¿Puede considerar que se trata de un movimiento ondulatorio? Justifique su respuesta.

Describa cómo se puede producir un pulso igual al graficado, ¿y una sucesión de pulsos?

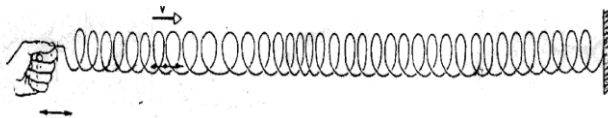
¿Por qué se traslada la perturbación, es decir, cuál es el mecanismo que permite esa traslación? Explique.

¿Se propaga energía desde un punto a otro de la cuerda? ¿Por qué?

¿De qué depende el tiempo que demora el pulso en llegar al otro extremo de la cuerda?

### Cuestionario N° 3

**Un pulso longitudinal avanza en un resorte liviano sostenido en sus extremos.**



¿Puede considerar que se trata de un movimiento ondulatorio? Justifique su respuesta. Describa de qué manera se puede producir una perturbación longitudinal que se traslade por el resorte. ¿Y una sucesión de pulsos longitudinales?

¿Cuál es el mecanismo que hace posible que el pulso se traslade?

¿Se propaga energía desde un punto a otro del resorte? ¿Por qué?

¿De qué depende el tiempo que demora la perturbación en llegar al otro extremo del resorte?