

# Construcción del concepto de onda y de fenómenos ondulatorios en estudiantes de educación media, utilizando un modelo virtual

Construction of the concept of wave and wave phenomena in middle school students using a virtual model

**Hernando Tamayo**  
htamayo@usc.edu.co

Universidad Santiago de Cali, Colombia

**Álvaro Perea, Ph.D.,**  
alpes@univalle.edu.co

Universidad del Valle, Cali, Colombia

**Wayner Rivera, M.Sc.**  
wrivera@ucauca.edu.co

Universidad del Cauca, Popayán, Colombia

## Resumen

Esta propuesta está diseñada para enseñar conceptos de ondas usando modelos virtuales que permiten visualizar su naturaleza dinámica, medir sus parámetros (amplitud, longitud de onda, periodicidad, frecuencia y velocidad de propagación) y permitir a los estudiantes interactuar con el fenómeno y mostrarles sus relaciones de causa-efecto. Con este fin se seleccionaron dos plataformas que reproducen las ondas en un ambiente de micromundos y modelos virtuales. La aplicación de esta propuesta didáctica a un grupo de estudiantes de bachillerato produjo excelentes resultados en la construcción de los conceptos de ondas y los fenómenos ondulatorios. La simulación permite visualizar y entender los modelos físicos y los fenómenos naturales, lo cual favorece el aprendizaje y los procesos cognitivos.

## Palabras clave

Modelo virtual; plataforma PhET; proyecto Newton; ondas; función de ondas; TIC.

## Abstract

The proposal is designed using virtual wave models that permit visualizing the dynamic nature of waves, the measurement of their parameters (amplitude, wavelength, periodicity, the calculation of its frequency and speed of propagation) and the interaction of the student with the phenomenon by showing a cause and effect relationship. For this purpose, two platforms which reproduce the waves under an environment of digital micro-worlds and virtual models were selected. The application of the didactic proposal with a group of students in middle school produced excellent results in the construction of the concept of waves and of undulatory phenomena. The simulations allow for the visualization and understanding of the physical models of natural phenomena, favoring learning in the students' cognitive processes.

## Keywords

Virtual model; PhET; Newton Project; waves; wave function; TIC.

Fecha de recepción: agosto 30 de 2011

Fecha de Aceptación: noviembre 30 de 2011

**Nota.** Este artículo corresponde a una revisión de la ponencia presentada por los autores en el II Congreso Nacional de Investigación en Educación en Ciencias y Tecnología realizado en la ciudad de Cali en Junio de 2010. Se publica, con esta salvedad, por solicitud de sus autores.

## I. Introducción

Usualmente, la enseñanza de la mayoría de los conceptos científicos, y en particular los del campo de la Física, se encuentra limitada a clases magistrales, prácticas de laboratorio y demostraciones, que no aportan al estudiante un aprendizaje significativo debido al comportamiento dinámico que subyace en estos conceptos. Entre estos conceptos nos referimos al de onda y los fenómenos ondulatorios, propios de este tema. Los profesores representan las ondas en el tablero por medio de diagramas estáticos que no permiten mostrar su carácter dinámico. Al tratar de hacerlo produciendo ondas mecánicas con un resorte helicoidal o en una cubeta de ondas se muestra su carácter dinámico, pero se descubre la dificultad de obtener medidas precisas de parámetros de onda como la amplitud, la longitud de onda, el periodo y del cálculo de la frecuencia y su velocidad de propagación.

El objetivo de este trabajo es que el estudiante esté en capacidad de identificar, representar y explicar la naturaleza y las características de una onda, los fenómenos ondulatorios y el movimiento del medio en que se propaga una onda, utilizando un modelo virtual complementario de la experiencia real.

Esta investigación utiliza las nuevas tecnologías de la información y la comunicación como una herramienta o mediación instrumental para resolver una actividad (construcción del concepto de onda y de fenómenos ondulatorios), hecho que introduce cambios respecto a la motivación y a los procesos cognitivos de los estudiantes a quienes les agrada el manejo de la virtualidad y con quienes se puede llegar a construir otros conceptos utilizando modelos virtuales. Aquí las simulaciones, empleadas en los modelos virtuales, son consideradas instrumentos en el sentido atribuido por la psicología histórico-cultural a los auxiliares utilizados para resolver una actividad. En los trabajos de Vygotsky se plantea una estrecha relación entre actividad y mediación instrumental, a la que le atribuyen como resultado la estructura básica de la cognición (Vygotsky, 1979; Perea, 1999).

### A. Referentes Epistemológicos

Los modelos virtuales establecen una estrecha relación con el modelo cognitivo (Giere, 1992) debido a que resultan apropiados para ser aplicados en la Ciencia Escolar, puesto que establecen una conexión entre los modelos teóricos y las representaciones mentales (modelos) que tienen los estudiantes acerca de los fenómenos naturales.

Entre los diferentes modelos de ciencia (el empirismo

y neopositivismo; el racionalismo; el constructivismo) se toma el modelo cognitivo de ciencia como base para fundar la construcción del concepto de onda y de fenómenos ondulatorios por medio de un modelo virtual, teniendo en cuenta que el modelo cognitivo de ciencia muestra una estrecha relación entre los experimentos, los lenguajes y las teorías científicas, y en segundo lugar porque permite fundamentar, epistemológicamente, de manera autónoma a la Ciencia Escolar en su relación con los estudiantes (Giere, 1992, 1996; Perea 1999).

### B. Referentes pedagógicos y didácticos

En el proceso de enseñanza el profesor debe actuar como orientador, facilitador o mediador del aprendizaje del estudiante; debe motivar, manifestar intencionalidad, provocar actividades dinámicas y situaciones en las que los estudiantes puedan construir, deconstruir y reconstruir (hacer aprendizaje significativo) sus propios conocimientos y valores. Las actividades que proponen el profesor y los materiales didácticos de apoyo que usa no cumplirán su auténtica misión si el educador no manifiesta esta intencionalidad educativa. Según Vygotsky, se deberá acudir a la didáctica y a la mediación instrumental para tener referentes propositivos que le permitan acortar la distancia entre las finalidades educativas y la realidad de sus alumnos, es decir, reducir la ZDP. Por ello en este trabajo se presenta una concepción de la actividad del profesor, obtenida a la luz de la teoría de la actividad de Vygotsky aplicada por Alekséi Nikoláyevich Leontiev.

Para Leontiev, en cualquier actividad humana el sujeto (el profesor), impulsado por sus motivos, actúa sobre el objeto (la dirección del aprendizaje del estudiante) para alcanzar su objetivo (la representación que ha imaginado del producto a lograr). El sujeto planifica la actividad, los procedimientos y los medios que va a utilizar, las condiciones en que se debe realizar y el producto a lograr. Los medios son los instrumentos materiales que posee el sujeto y que emplea en la transformación del objeto; en nuestro caso, el modelo virtual con sus simulaciones. Los productos son los resultados logrados mediante la actividad; en nuestro caso la construcción del concepto de onda y de fenómenos ondulatorios utilizando un modelo virtual.

## II. Metodología

La metodología desarrollada está de acuerdo con lo propuesto por Goetz y LeCompte (1988), donde se aplica la propuesta didáctica de manera sincrónica a un grupo homogéneo y

diferenciado de estudiantes de grado once, con edades entre los quince y diecisiete años, de un colegio privado, coeducativo, tomando como referente el tema de las ondas que se estudia en el primer periodo académico.

Se establecieron tres variables para hacerles seguimiento en el curso de la investigación: I. Naturaleza y características de una onda; II. Movimiento del medio en el cual se propagan las ondas.; III. Fenómenos de onda: reflexión, refracción y difracción e interferencia.

Los estudiantes recibieron tres semanas de clases magistrales apoyadas por demostraciones dinámicas hechas con un resorte helicoidal y un laboratorio con la cubeta de ondas. Después de cubrir el tema de ondas, propuesto en la planeación periódica, se les aplicó a los estudiantes un cuestionario de diagnóstico para medir el grado de apropiación y manejo de las variables establecidas. Simultáneamente se aplicó una encuesta estructurada a profesores de educación media y superior para indagar sobre el uso de modelos y el uso de las TIC como herramientas didácticas de apoyo en la enseñanza de la Física; ondas, en particular. Luego se desarrolló con los estudiantes la propuesta didáctica como una mediación instrumental y finalmente se obtuvieron los resultados medidos con el análisis de un segundo cuestionario de control aplicado al final del estudio, en donde se evaluó el comportamiento y la evolución de las mismas variables.

## B. Propuesta

Se eligieron dos plataformas que admiten descargar e instalar sus programas libremente en el computador y permiten trabajar en línea desde su página Web (para su normal funcionamiento se necesita instalar en el computador el programa Java y el plug-in Descartes para Web 2.0.):

- Plataforma PhET, Physics Education Technology (University of Colorado, 2011). Funciona en el ambiente de todos los sistemas operativos (Windows, Mac OS X y Linux), con el programa Java instalado.
- Plataforma Proyecto Newton (Instituto de Tecnologías Educativas [ITE] - Centro Nacional de Investigación y Comunicación Educativa [CNICE], 2011). Funciona en el ambiente de los sistemas operativos Windows, Mac OS X y Linux, con el programa Java instalado y con el plug-in Descartes Web 2.0, que se ofrece libremente en la misma página.

Las plataformas presentan los modelos en forma de simulaciones (*applets*) o herramientas interactivas que permiten a los estudiantes establecer conexiones entre los fenómenos de

la vida real y la ciencia subyacente que explica esos fenómenos, usan analogías para dar sentido a fenómenos desconocidos y sirven para cambiar las formas tradicionales de la participación de los estudiantes en el aula. Las simulaciones presentadas se desarrollan atendiendo a competencias semióticas y están orientadas para ayudar a los estudiantes a visibilizar conceptos científicos debido a que animan lo que es invisible para el ojo y no plausible en el mundo real.

Las plataformas presentan un menú que permite la manipulación de sus herramientas interactivas, tales como gráficos, controles intuitivos, reguladores, botones de opción e instrumentos de medida (reglas métricas, cronómetros, y multímetros), por medio de los cuales los estudiantes ilustran las relaciones de causa – efecto. Los programas utilizados en las dos plataformas están diseñados con los parámetros de una tecnología virtual, que pretende introducir a los usuarios en micromundos digitales. Los micromundos son un ejemplo de ambientes de aprendizaje activo donde los estudiantes deben participar e interactuar con el ambiente en que están inmersos, con el fin de crear su propia visión del tema (Jonassen, 2000; Santos & Stipcich, 2009).

El primer paso es acceder a la página [http://phet.colorado.edu/sims/wave-on-a-string/wave-on-a-string\\_es.html](http://phet.colorado.edu/sims/wave-on-a-string/wave-on-a-string_es.html) (University of Colorado, 2011) o trabajar con el programa instalado previamente en el computador (Figura 1).

El estudiante debe identificar, reconocer y manejar las herramientas que presenta el panel de control. Una vez conozca el funcionamiento del programa, el estudiante debe producir ondas viajeras (en el modo de oscilación, sin final y sin amortiguación en el panel de control), y por el método interactivo causa-efecto debe explicar el significado de las características de las ondas y medir algunos de sus parámetros con sus correspondientes unidades de medida.

Los objetivos del laboratorio virtual son medir longitudes de onda  $\lambda$ , medir periodos  $T$ , calcular frecuencias  $f$ , calcular velocidad de onda  $v$ , medir amplitudes  $A$ , establecer la relación entre la frecuencia y la longitud de onda.

Ingresar en la página (o trabajar con el programa instalado previamente en el computador): [http://concurso.cnice.mec.es/cnice2005/56\\_ondas/index.htm](http://concurso.cnice.mec.es/cnice2005/56_ondas/index.htm)

El estudiante debe identificar, reconocer y manejar las herramientas que presenta el panel de control y una vez conozca el funcionamiento del programa, desarrollar el Laboratorio I. ( $\lambda$ ,  $T$ ,  $f$ ,  $v$ ,  $A$ ) ayudado por una guía de trabajo que recomienda hacer un análisis de errores para cada una de las mediciones.

Al finalizar el trabajo en las páginas Web citadas el estudiante debe producir un informe que consigne, a modo de conclusiones, el cumplimiento de los objetivos propuestos.

El paso dos es acceder a la página [http://concurso.cnice.mec.es/cnice2005/56\\_ondas/index.htm](http://concurso.cnice.mec.es/cnice2005/56_ondas/index.htm) (ITE-CNICE, 2011) o trabajar con el programa instalado previamente en el computador.

El estudiante desarrolla el Laboratorio II (Reflexión) y posteriormente el Laboratorio III (Refracción) apoyado en una guía de trabajo: [http://recursostic.educacion.es/newton/web/materiales\\_didacticos/ondas/ondas-interferencia1.htm?2&0](http://recursostic.educacion.es/newton/web/materiales_didacticos/ondas/ondas-interferencia1.htm?2&0)

El *applet* representa el fenómeno de la interferencia y se abre presionando Avanzar. Se realizan las prácticas A1, A2 y A3 siguiendo las consignas que se indican para cada una de ellas. [http://recursostic.educacion.es/newton/web/materiales\\_didacticos/ondas/ondas-difraccion1.htm?3&1](http://recursostic.educacion.es/newton/web/materiales_didacticos/ondas/ondas-difraccion1.htm?3&1)

El *applet* representa la difracción de los frentes de onda. Se abre presionando Avanzar. Se realizan las prácticas A1 y A2, siguiendo las consignas que se indican para cada una de ellas.

Los objetivos del laboratorio virtual son comprender identificar y explicar de manera cualitativa y cuantitativa los fenómenos ondulatorios de reflexión, refracción, difracción e interferencia; y comprobar dos leyes fundamentales, la ley de la reflexión y la ley de Snell.

Al finalizar el trabajo en las tres páginas Web propuestas el estudiante debe producir un informe que consigne, a modo de conclusiones, el cumplimiento de los objetivos propuestos.

Finalmente, para deducir la ecuación de onda debe acceder a la página (o trabajar con el programa instalado previamente en el computador) [http://newton.cnice.mec.es/materiales\\_didacticos/MAS/241\\_mas.html?1&3](http://newton.cnice.mec.es/materiales_didacticos/MAS/241_mas.html?1&3).

El estudiante debe encontrar la semejanza entre el movimiento armónico simple (MAS) y el movimiento circular uniforme (MCU) y obtener de ahí la ecuación que describe dichos movimientos, conocida como la función de onda.

### III. Resultados

La Tabla 1 presenta la evolución del conjunto de estudiantes en la construcción de los conceptos contenidos en las variables analizadas en el curso de la investigación. En las tres variables estudiadas se muestra un comportamiento satisfactorio en el curso del estudio. Para el análisis de las variables se fijó una meta de aceptación del 60%, equivalente a una calificación de 3 en la escala de 0 a 5.

Variable	Cuestionario	
	Diagnóstico	Control
Naturaleza y características de una Onda	42%	78%
Movimiento del medio en el cual se propagan las Ondas	56%	89%
Fenómenos de Ondas	62%	90%

**Tabla 1.** Resultados promedio en los cuestionarios Diagnóstico y Control

Al realizar el estudio, en el cuestionario de control, sobre el grado de interiorización de las tres variables estudiadas, se muestra una deficiencia en las dos primeras, ya que no alcanzan el 60% que se propone como meta, y la tercera variable escasamente lo logra.

Los temas que contienen los conceptos en los cuales los estudiantes muestran tener mayor dificultad en su construcción e interiorización son los referidos al reconocimiento de la existencia de las fuerzas de recuperación (le llaman onda a la ola producida en un estadio de fútbol), a la explicación del movimiento del medio en que se propagan las ondas (especialmente con las ondas longitudinales) y a la identificación del fenómeno de la difracción. Estos tres temas se tratan con particular cuidado en el desarrollo de los laboratorios virtuales.

### IV. Conclusiones

El uso de simulaciones como instrumentos para resolver una actividad (construcción del concepto de onda y de fenómenos ondulatorios) favorece el aprendizaje dado que introduce cambios respecto a la motivación y a los procesos cognitivos de los estudiantes. Aquí los *applets* son considerados instrumentos en el sentido atribuido por la psicología histórico-cultural a los auxiliares utilizados para resolver una actividad.

Esta perspectiva brinda elementos teóricos y metodológicos para estudiar de manera holística el aprendizaje de las ciencias (ondas en particular) con tecnología informática como una actividad cognitiva, que bien podría considerarse producto de una evolución filogenética y ontogenética, donde el desarrollo histórico cultural del hombre tiene un rol preponderante. En los trabajos de Vygotsky se plantea una estrecha relación entre actividad y mediación instrumental a la que le atribuyen como resultado la estructura básica de la cognición. Habida cuenta de identificar dos tipos de actividad, Orientada externamente y Orientada internamente, se distingue entre “herramienta como medio para el trabajo y lenguaje como medio para el

intercambio social” (Vygotsky, 1979, p. 89). De manera que los sistemas de herramientas y los sistemas de signos no pueden considerarse isomorfos (con la misma estructura), dado que orientan de distinto modo la actividad humana, sino instrumentos que comparten la característica de tener una función mediadora (Santos & Stipcich, 2009).

Los modelos virtuales (*applets* o simulaciones por computador) se consideran instrumentos que favorecen la construcción de conocimientos, expanden las posibilidades de manipular y transformar los objetos, promueven el desarrollo de funciones psicológicas superiores para interpretar, organizar, planificar, comparar, relatar, seleccionar, tomar decisiones y representar el conocimiento empleando para ello diferentes lenguajes que comprometen competencias cognitivas diversas (Santos & Stipcich, 2009). Interactuar con una simulación, con los pares de la clase, con el docente y con el saber teniendo como finalidad dar respuesta a una actividad implica afrontar una variedad de lenguajes, tales como el tecnológico, el cotidiano (que empelará para discutir con sus compañeros y con el docente), el científico (que incluye los términos disciplinares específicos), el algebraico (de las ecuaciones que se pongan en juego) y el gráfico.

El mapa conceptual de las funciones de los instrumentos psicológicos inicia con el concepto de instrumento, porque Vygotski parte de la analogía de los instrumentos materiales –que transforman la naturaleza y por tanto median la actividad del hombre en los procesos de transformación de ella– y los instrumentos psicológicos –que sirven para actuar internamente, no externamente; que controlan y transforman los procesos.

De lo anterior precisamos las conclusiones así:

- La metodología utilizada en la investigación es apropiada porque conduce a obtener resultados que permiten hacer una propuesta para mejorar la construcción del concepto de onda y los fenómenos ondulatorios.
- Combinar los dos análisis, cualitativo y cuantitativo, en

la investigación muestra ser altamente productivo, puesto que al ser métodos complementarios permiten dilucidar variables que de otra manera permanecerían ocultas.

- Los estudiantes construyen el concepto de onda a partir de un modelo estático que no les permite visualizar la componente dinámica de las ondas y tampoco interpretar la ecuación que sirve para describir el movimiento ondulatorio: la Función de Onda.
- Utilizar un modelo estático de onda no les permite a los estudiantes identificar sus características (amplitud, longitud de onda) ni medir los parámetros dinámicos (periodo, velocidad de propagación, cálculo de la frecuencia e identificación de las fuerzas de recuperación); por tanto, dificulta explicar el movimiento del medio en que se propagan las ondas, particularmente el asociado a las ondas longitudinales.

## Referencias

- Giere, R. (1992). La explicación de la ciencia. Un acercamiento cognoscitivo. México D.F., México: Concejo Nacional de Ciencia y Tecnología.
- Goetz, J., & LeCompte, M. (1988). Etnografía y diseño cualitativo en investigación educativa. Madrid, España: Editorial Morata.
- Instituto de Tecnologías Educativas [ITE]. (2010). Proyecto Newton. Recuperado de <http://recursostic.educacion.es/newton/web/>
- Jonassen, D. & Carr, C. (2000). Mindtools: Affording Multiple Knowledge Representations for Learning. En Lajoie, S. (Ed.). Computer as cognitive tools, Vol. 2: No more walls (pp. 165-195). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Perea, Á. (1999). Razonamientos de estudiantes de secundaria sobre los procesos de cambio [Tesis Doctoral]. Universidad Autónoma de Barcelona: España.
- Santos, G., & Stipcich, S. (2009). Múltiples representaciones en los applets: una alternativa para la apropiación de los códigos básicos en ciencia y tecnología. Revista Electrónica Razón y Palabra, 69. Recuperado de <http://www.razonypalabra.org.mx/Contribuc...pdf>
- University of Colorado (2011). Wave on a Sting. En PhET Interactive Simulations. Recuperado de [http://phet.colorado.edu/sims/wave-on-a-string/wave-on-a-string\\_es.html](http://phet.colorado.edu/sims/wave-on-a-string/wave-on-a-string_es.html)
- Vygotsky, L (1979). El desarrollo de los procesos psicológicos superiores. Madrid: Editorial Crítica.

## Curriculum

**Hernando Tamayo.** Físico, Especialista en Finanzas y Magister en Educación con énfasis en enseñanza de las ciencias Naturales, de la Universidad del Valle. Profesor de planta y Jefe de Área de Física de la Universidad Santiago de Cali.

**Wayner Rivera Márquez.** Físico de la Universidad del Valle, Magíster en Ingeniería Eléctrica del CINVESTAV-IPN, México y Máster of Science (The University of North Texas). Docente de la Universidad del Cauca, Popayán, Colombia.

**Álvaro Perea.** Doctor en Didáctica de las Ciencias Experimentales y las Matemáticas de la Universidad Autónoma de Barcelona (2000). Investigador de la Universidad del Valle en el área de Didáctica de las Ciencias Naturales.