

Evolución de los esquemas en futuros maestros de ciencias naturales a partir de una actividad experimental sobre ondas sonoras

REVISTA
DE
ENSEÑANZA
DE LA
FÍSICA

Evolution of the schemes in pre-service natural science teachers from an experimental activity about sound waves

Daniel Pabón Rúa¹, Mónica Eliana Cardona Zapata¹ y Sonia López Ríos¹

¹Facultad de Educación, Universidad de Antioquia, Ciudad Universitaria, Calle 67 #53-108, Medellín. Colombia.

E-mail: jhon.pabon@udea.edu.co

Resumen

Se ha reportado en la literatura que en la actividad experimental en física se presenta una clara escisión entre teoría y práctica, que da cuenta de una visión distorsionada de la construcción del conocimiento científico. En este sentido, se construyó una propuesta teórico-metodológica fundamentada en la Teoría de los Campos Conceptuales de Vergnaud en la que se articula la actividad experimental y el uso de tecnologías para abordar situaciones que favorezcan la conceptualización en física y una visión de la construcción de la ciencia más cercana a las posiciones epistemológicas actuales. La propuesta se implementó con un grupo de futuros maestros del área de ciencias naturales de un programa de Licenciatura (denominación exclusiva para los programas de formación de maestros en Colombia) de la Universidad de Antioquia. Luego de enfrentarse a diferentes situaciones relacionadas con el concepto de ondas sonoras en el contexto de la actividad experimental, se observó la evolución de los esquemas de los participantes, a partir del enriquecimiento de sus invariantes operatorios y la generación de secuencias de acción pertinentes para las situaciones a las que se enfrentaban. Lo anterior da cuenta de un progresivo dominio del concepto abordado y por tanto de un proceso de conceptualización. Por lo que se considera que la implementación de dicha propuesta en cursos de formación inicial y continuada de profesores de ciencias puede contribuir de manera importante a la conceptualización en física, la concepción de la actividad experimental como un espacio en el que confluyen teoría y práctica y la apropiación crítica del uso de tecnologías.

Palabras clave: Actividad experimental en física; Conceptualización; Formación de maestros; Ondas sonoras.

Abstract

Literature reports that in the experimental activity in physics there is a clear split between theory and practice, revealing a distorted view of the construction of scientific knowledge. In this sense, a theoretical-methodological proposal was built, based on the Theory of Conceptual Fields of Vergnaud in which experimental activity and the use of technologies to address situations that favor conceptualization in physics and a vision of the construction of science closer to current epistemological positions. The proposal was implemented with a group of pre-service science teachers of the University of Antioquia, Colombia. After facing different situations related to the concept of sound waves in the context of experimental activity, was observed the evolution of the participants' schemes, from the enrichment of their operational invariants and the generation of relevant action sequences for the situations they faced. The foregoing reveals a progressive command of the concept addressed and therefore of a conceptualization process. Consequently, it is considered that the implementation of this proposal with pre-service and in-service science teachers can contribute significantly to the conceptualization in physics, the conception of experimental activity as a space in which theory and practice converge and the critical appropriation of the use of technologies.

Keywords: Experimental activity in physics; Conceptualization; Teachers training; Sound waves.

I. INTRODUCCIÓN

La experiencia que aquí se relata surge de un trabajo de investigación a nivel de maestría, en el que se implementó una propuesta teórico-metodológica fundamentada en la Teoría de los Campos Conceptuales de Vergnaud (1990) y haciendo uso de Sistemas de Adquisición de Datos (SAD) en el trabajo práctico de laboratorio de física. Fue diseñada en el marco de un proyecto adscrito al Comité para el Desarrollo de la Investigación (CODI) de la Universidad de Antioquia, Colombia, con el propósito de valorar la contribución de los SAD a la conceptualización en física de los futuros maestros de ciencias naturales, asumiendo que es posible proponer alternativas para pensar la enseñanza de la física, especialmente la actividad experimental, partiendo de otros elementos diferentes a las metodologías tradicionales. De acuerdo con lo anterior, se describen los resultados de una experiencia que trata de responder a la pregunta sobre ¿qué esquemas ponen en juego los maestros de ciencias en formación al desarrollar una actividad experimental en física apoyada en dispositivos tecnológicos?, particularmente al abordar situaciones relacionadas con el concepto de ondas sonoras.

II. MOTIVACIÓN

De acuerdo con Hodson (citado en Cortés y De la Gándara, 2007), la imagen que tienen muchos profesores y estudiantes sobre los laboratorios de física, es que son espacios para la manipulación de instrumentos o la aplicación de ejercicios al margen de algún contenido conceptual, con un procedimiento previamente definido. Por lo cual, este autor apoya la idea de promover la recontextualización de la actividad experimental, enfocada a la realización de experiencias que ayuden a los estudiantes a acercarse a la construcción del conocimiento científico, y a concebir este espacio como ideal para el aprendizaje de las relaciones entre la metodología y los significados, así como para la construcción de una visión de la actividad experimental más cercana a las posiciones epistemológicas actuales (Andrés, Pesa y Meneses, 2008). En este sentido, se podría afirmar que la principal motivación para el diseño de esta experiencia, es tener en cuenta las consideraciones mencionadas previamente para la actividad experimental en la enseñanza de la física, y particularmente, en la formación de maestros de ciencias.

Asimismo, considerando la necesidad actual de incorporar el uso de tecnologías en la enseñanza, las actividades diseñadas están apoyadas en el uso de SAD y aplicaciones móviles, debido a que se constituyen en un valioso recurso para apoyar la actividad experimental en la enseñanza de la física; ya que permiten que los estudiantes se relacionen con su propio aprendizaje, desarrollen habilidades metacognitivas, resuelvan situaciones aplicables al contexto al que pertenecen, construyan una interpretación del mundo real, entre otras cosas (Araujo, Veit y Moreira, 2004; Araujo y Veit, 2008; Menezes, Schiel, Müller y Marega, 2002).

III. JUSTIFICACIÓN

En esta experiencia cobra importancia la formación de profesores, dado el papel que estos desempeñan en los índices de calidad educativa y por ende en el cumplimiento de los objetivos de la educación en ciencias, que para el caso del Ministerio de Educación en Colombia significa promover la formación de sujetos con la capacidad para razonar, debatir, producir, convivir y desarrollar su potencial creativo (Ministerio de Educación Nacional de Colombia, 2004). Este tipo de habilidades pueden ser desarrolladas a través de diferentes estrategias de aprendizaje en el contexto de la enseñanza de las ciencias; una de ellas es la actividad experimental. Jaime y Escudero (2011) resaltan la necesidad de brindar orientaciones en la actividad experimental, pues de acuerdo con estos autores, en muchas ocasiones ha sido concebida como un espacio ausente de enseñanza intencionada. Ante esta situación, se requiere de un referente cognitivo que permita fundamentar tanto teórica como metodológicamente la actividad experimental, específicamente en el área de la física. La Teoría de los Campos Conceptuales propuesta por Gerard Vergnaud (1990) se posiciona como un referente con gran potencial para tal fin, en la medida que se presenta como un marco coherente para estudiar el desarrollo y el aprendizaje de competencias complejas, relacionadas principalmente con las habilidades científicas y las técnicas del laboratorio (Pesa y Bravo, 2016).

Vergnaud considera que el conocimiento se organiza en torno a campos conceptuales que contemplan situaciones y problemas, para los cuales se requiere de conceptos, procedimientos y representaciones. En esta experiencia se aborda el campo conceptual de la mecánica, específicamente el concepto de ondas sonoras, teniendo en cuenta que diversas investigaciones identifican problemas en la conceptualización que presentan los estudiantes en contextos de educación superior (Bravo, Pesa y Sahelices, 2009; Pérez y Esper, 2005; Welti, 2002; Wittmann, Steinberg y Redish, 2003). Estos trabajos resaltan la dificultad que

tienen para comprender el mecanismo de propagación de la onda y el papel que desempeña el medio a través del cual se da dicha propagación. Puntualmente, Bravo y otros (2009) señalan que estos problemas están relacionados con la ausencia de los conceptos de propagación, medio de propagación y propiedades elásticas del medio en los esquemas de los estudiantes. Por lo anterior, es necesario diseñar propuestas de enseñanza en las que se enfrenten a situaciones relacionadas con este concepto, que promuevan la evolución de sus esquemas, los cuales son un medio de adaptación que le permite al sujeto organizar su conducta de manera pertinente (Sureda y Otero, 2010).

En consonancia con lo anterior, para esta experiencia se considera que la implementación de tecnologías en la enseñanza de las ciencias tiene un alto potencial para generar estrategias que ayuden a superar las dificultades que tienen los estudiantes en esta área; principalmente asociadas a la representación de conceptos, la relación entre variables y la solución de situaciones novedosas (Fiolhais y Trindade, 2003). Indagando sobre el uso de estas herramientas en la enseñanza de la física, se rescatan tecnologías como los Sistemas de Adquisición de Datos (SAD), ya que una de sus principales ventajas es que le permiten al estudiante tener mayor tiempo para la comprensión de conceptos físicos, al reducir el tiempo empleado en la recolección de datos (Araujo y otros, 2004). Un SAD se conforma por un dispositivo de medición que permite que los datos obtenidos con sensores sean leídos y analizados por un *software* computacional. Todo el SAD requiere un sensor para convertir alguna variable física en una señal eléctrica que se suministra al computador para la recolección y análisis de datos de dicha variable (Haag, Araujo y Veit, 2005). En la figura 1 se presenta uno de los SAD utilizados en el desarrollo de esta experiencia.

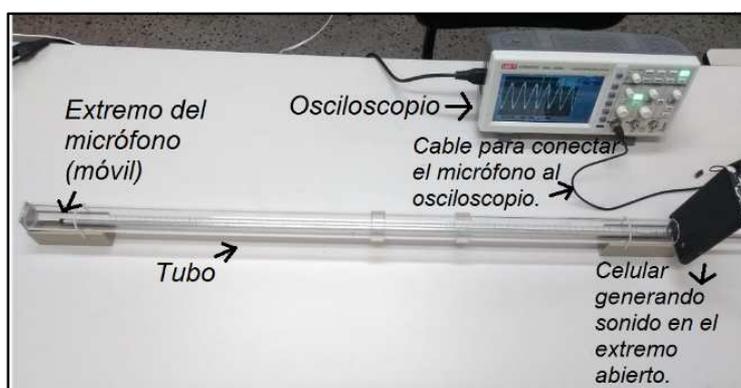


FIGURA 1. Montaje de un SAD conformado por un osciloscopio, un tubo abierto-cerrado, un micrófono móvil y un celular.

No obstante, el uso de SAD ha sido una modalidad poco explorada en el contexto de la formación de profesores de física, por lo que consideramos que se hace necesario generar propuestas de enseñanza para la actividad experimental con el uso de SAD que permitan, a los maestros en formación del área de ciencias naturales, desarrollar competencias científicas y asumir un rol activo en sus procesos de aprendizaje.

IV. DESCRIPCIÓN DE LA EXPERIENCIA

Considerando la actividad experimental como un espacio más enfocado a la comprensión de conceptos y menos a la instrumentalización, se toma como referente la visión de Caamaño (2004) sobre trabajos prácticos de laboratorio como investigaciones, que no requieren de una guía secuenciada de pasos. Esta visión está enmarcada en la solución de problemas ya sean teóricos o prácticos que se abordan mediante el diseño y la construcción de experimentos.

Se asume la actividad experimental desde esta perspectiva, por estar en consonancia con la Teoría de los Campos Conceptuales de Vergnaud (1990), la cual considera que los procesos de aprendizaje se llevan a cabo cuando los sujetos ponen en juego sus esquemas para abordar situaciones que se le presentan. Esta teoría fundamenta el diseño de esta experiencia, que tiene como objetivo *describir la evolución de los esquemas en un grupo de maestros en formación del área de ciencias, al desarrollar una actividad experimental en física*. Se propusieron diversas situaciones relacionadas con el concepto de ondas sonoras, donde los participantes debían activar esquemas para resolverlas. Palmero y Moreira (2004) proponen que los procesos de conceptualización podrían estudiarse a partir de la observación de las conductas y los esquemas de los sujetos, de tal manera que pueda determinarse el significado que tiene para ellos desde el punto de vista cognitivo. En este sentido, la evolución de los esquemas se analiza a la luz de los invariantes operatorios, que de acuerdo con la Teoría de los Campos Conceptuales, están conformados por los

conceptos y teoremas en acción, que son las categorías que se consideran como pertinentes y las proposiciones que los sujetos enuncian y asumen como verdaderas, respectivamente (Otero, Fanaro, Sureda, Llanos y Arlego, 2014); así como las reglas de acción, que de acuerdo con Moreira (2002) son las que permiten generar secuencias de acción que ayudan al sujeto en la búsqueda de información y en el control de los resultados de la situación.

Para el registro de la información se utilizaron diversos instrumentos y técnicas de la metodología de investigación cualitativa, como: la observación participante, el diario de campo y la entrevista individual semiestructurada; además de una bitácora, que cada estudiante diligenciaba durante el desarrollo de las actividades. El curso en el que se implementó la propuesta tenía una intensidad de seis horas semanales (cuatro teóricas y dos prácticas en un espacio de laboratorio). Los momentos de la propuesta tuvieron lugar durante cuatro semanas en las sesiones de laboratorio; en las demás horas se realizaron clases magistrales relacionadas con el campo conceptual abordado, pero estas no se tuvieron en consideración para el análisis. La experiencia se dividió en tres fases, constituidas por situaciones y actividades, como se describe en la tabla I.

TABLA I.Fases, situaciones y actividades propuestas para el desarrollo de la experiencia.

Fase	Situaciones	Actividades
<p><i>Diagnóstico</i> (1 sesión de 2 horas) Propósito: conocer el nivel inicial de los esquemas de los participantes.</p>	<p>Anillos de agua que se propagan por una perturbación que provoca la caída de una roca en este medio (S1). Una masa de agua se desplaza desde la cima de una montaña hasta el mar (S2). Al tocar un tambor el sonido viaja desde el instrumento hasta los oídos de una persona (S3). Cambio de frecuencias y notas musicales al soplar por pitillos de distintas longitudes (S4).</p>	<p>Se plantearon cuatro situaciones para ser solucionadas por los participantes. En la bitácora escribían de manera individual, qué creían que sucedía en cada una de ellas. En las situaciones S1 y S2, enunciaban algunas diferencias y semejanzas entre los fenómenos descritos; mientras que en la S3 explicaban cómo creían que el sonido hacía para llegar desde el instrumento hasta los oídos. Por otra parte, la S4 fue desarrollada en parejas, utilizando como materiales unas tijeras y un pitillo (popote); los participantes debían realizar un corte en “V” en uno de los extremos del pitillo y luego soplar a través del extremo en el cual hicieron el corte, prestando atención al sonido producido; posteriormente, cortaban pequeñas partes del pitillo por el otro extremo, de tal manera que pudieran escuchar cómo variaba el sonido, a medida que cambiaba la longitud.</p>
<p><i>Actividades experimentales</i> (2 sesiones de 2 horas cada una) Propósitos: Sesión 1: relacionar las ondas sonoras con el transporte de energía y no de materia.</p>	<p>Cambio de frecuencias y notas musicales al soplar por pitillos de distintas longitudes (S4). Vibración de cristales por ondas sonoras para mover objetos (palillos) a distancia sin hacer contacto con ellos (S5).</p>	<p>Se plantearon tres situaciones para abordar durante dos sesiones. En la primera se realizaron dos actividades experimentales; en una de ellas (S5) disponían de un poco de agua, dos copas de cristal y dos palillos de dientes. Sobre una de las copas se ubicaron los dos palillos, con el fin de moverlos mediante las ondas sonoras que eran generadas al frotar de manera circular el borde de la otra copa. La siguiente actividad consistía en encontrar cinco frecuencias en orden ascendente, utilizando tijeras, pitillos, un flexómetro y la <i>App</i> para Android <i>Afinador n-Track</i>. Esta aplicación capta las señales sonoras y muestra en la pantalla del celular las frecuencias y el tono musical asociado a estas. En una tabla registraron la longitud del pitillo, las frecuencias alcanzadas y sus tonalidades correspondientes y realizaron conclusiones sobre el trabajo.</p>

TABLA I.(Continuación).

Fase	Situaciones	Actividades
Propósitos: Sesión 2:determinar experimentalmente la rapidez del sonido.	Ondas sonoras al interior de un tubo abierto-cerrado generadas por una App de física para determinar la rapidez del sonido con ayuda de un osciloscopio (S6).	Para la segunda sesión se hizo entrega de un texto que abordaba la relación entre los nodos, los antinodos y la longitud de onda. Luego discutieron en grupos sobre un método para medir la rapidez del sonido; para lo cual se les proporcionó un SAD conformado por un tubo con extremos abierto-cerrado, un micrófono que se podía desplazar en el interior del tubo y un osciloscopio para visualizar la señal captada por el micrófono (figura 1), el cual detecta los cambios de presión y los traduce a impulsos eléctricos que se pueden visualizar en la pantalla. Utilizaron como fuente de sonido un teléfono Android con la aplicación <i>PhysicsToolbox</i> instalada. En la función “Generador de tono” fijaban distintas frecuencias que originaban al interior del tubo ondas estacionarias a causa del fenómeno de interferencia entre ondas con la misma amplitud y longitud de onda, lo cual generaba nodos que permanecían inmóviles. De esta manera, el osciloscopio les permitía identificar los lugares dentro del tubo donde la amplitud de la onda era mayor (antinodos) y aquellos en los que era nula (nodos); con esta información calculaban la longitud de onda, y con la frecuencia indicada en la aplicación del celular, determinaban la rapidez del sonido. Al final, cada grupo elaboró un informe del trabajo realizado, incluyendo una gráfica que relacionara las frecuencias que utilizaron y las longitudes de onda encontradas; así como algunas conclusiones de la actividad desarrollada.
<i>Proyecto grupal</i> (1 sesión de 2 horas) Propósito: aplicar conocimientos adquiridos durante la experiencia.	Diseño de instrumentos musicales de viento (S7).	En grupos construyeron un instrumento musical de viento con materiales sencillos. Valiéndose de conceptos propios del movimiento ondulatorio, debían explicar a sus compañeros, a través de una exposición, las propiedades de las ondas sonoras subyacentes al funcionamiento de este. Como complemento a la exposición, los estudiantes elaboraron un documento que incluía el nombre del instrumento, una explicación física de su funcionamiento mediante una representación tanto proposicional como gráfica.

V. CONTEXTO Y PARTICIPANTES

La experiencia se llevó a cabo en la Facultad de Educación de la Universidad de Antioquia, Colombia, teniendo como participantes un grupo de 20 futuros maestros del área de ciencias naturales, que estaban realizando el curso de Física II (física de ondas). Para el análisis de la información, se seleccionaron nueve participantes con edades entre 17 y 23 años; teniendo en cuenta que fueron aquellos que asistieron a la totalidad de las sesiones que hacían parte de la experiencia. Los participantes se identificaron de E1 a E9.

VI. IMPLEMENTACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA EXPERIENCIA

Para la evaluación de la presente experiencia, se estableció una comparación de los invariantes operatorios y las reglas de acción que manifestaron los participantes en un nivel inicial, registrados en el diagnóstico (S1a S4), con los invariantes operatorios y las reglas de acción en un nivel final, que fueron explicitados durante las actividades experimentales y el desarrollo del proyecto grupal. Lo anterior permitió describir la evolución de los esquemas, los cuales fueron valorados como insuficientes, aceptables o pertinentes, atendiendo a la correspondencia que presentaban con los teoremas que desde el campo conceptual se consideran pertinentes para dichas situaciones, y sobre los que se esperaba que los estudiantes adquirieran un progresivo dominio.

A. Las ondas transportan energía y no materia

En relación con este teorema, se tuvieron en cuenta las soluciones de los participantes a las situaciones S1, S2 y S5. Inicialmente el 88.8% de los participantes (todos exceptuando E6) no asociaban las ondas sonoras con el transporte de energía, incluso un 55,5%(E2, E3, E4, E7 y E9) asumía que las ondas desplazaban materia. Lo anterior coincide con los resultados de otros estudios (Bravo y otros, 2009; Pérez y Esper, 2005; Welti, 2002; Wittmann y otros, 2003) en los que se resalta que la ausencia de este teorema se ha constituido en un problema en el aprendizaje de las ondas mecánicas.

A la luz del referente teórico de aprendizaje, se obtuvo que de acuerdo con los invariantes operatorios y las reglas de acción manifestadas por los participantes, en el nivel inicial el 44,4% tenía esquemas insuficientes (E2, E3, E4 y E9), debido a que no identificaban relaciones entre conceptos y sus explicaciones no eran concretas ni pertinentes para la situación planteada; lo que se puede ejemplificar con lo que afirma E4, en cuanto a que *“ambas situaciones (S1 y S2) presentan propagación y una perturbación, un cambio de estado de movimiento”* (bitácora). Por su parte, otro 44,4% (E1, E5, E7 y E8) tenía esquemas aceptables, puesto que en estos se identificaban parcialmente las propiedades, relaciones y transformaciones de los objetos, pero no necesariamente eran pertinentes; como lo afirmado por E7, en cuanto a que *“en ambas situaciones (S1 y S2) hubo algo que salió de una fuente, en el caso de la piedra ondas y del nacimiento, agua”* (bitácora). El 11,2% (E6) restante, manifestó esquemas que se consideraron pertinentes, debido a que sus expresiones eran coherentes con el campo conceptual abordado; por ejemplo, la afirmación de E6: *“cuando se producen ondas, son gracias a la energía que se produce en el foco de donde empezó y es gracias a la energía en este caso de la piedra y el agua que se da este fenómeno”* (Bitácora).

Luego de enfrentarse a las situaciones planteadas, se pudo observar en las reglas de acción e invariantes explicitados, que los participantes (E3, E4, E5, E7 y E9) explicaron el fenómeno del movimiento de los palillos de la copa de cristal mediante transferencias de energía; específicamente E3 y E7 concluyeron que, si bien no logran ver la energía que transporta la onda, pueden ver la forma en que afecta los objetos:

las ondas no transportan materia sino energía y ahí estamos viendo que con esa producción de ese sonido no se está generando como algo visible o tangible en sí, pero lo estamos viendo manifestado en el movimiento de los palillos. (E3 y E7)

De igual manera, se resalta que E2 propuso como regla de acción *“golpear la copita, digamos con una moneda y que emitiera un sonido y así posiblemente hacer mover los palitos”* (Observación), que, aunque se consideró aceptable, fue desencadenante de otras inferencias que enriquecieron la discusión. A partir de los datos obtenidos, hubo un paso del 11,2% a un 55,5% (E3, E4, E5, E7 y E9) de participantes con esquemas pertinentes para las situaciones relacionadas con una de las principales propiedades de las ondas sonoras, que es el transporte de energía mediante perturbaciones en las partículas del aire.

B. El sonido es una onda mecánica que transporta energía mediante movimientos oscilatorios de las partículas del aire

Para este teorema, se tuvieron en cuenta las soluciones de los participantes a las situaciones S3 y S5. En cuanto a la manera en que se transporta la energía mediante las ondas sonoras, se pudo observar que en el diagnóstico el 88,8% de los participantes lo asociaban a perturbaciones en el aire, lo que se considera un conocimiento en acción aceptable. Específicamente los participantes E3, E4, E5 y E9 reconocieron que la energía se transporta mediante el movimiento de partículas del medio; por ejemplo E3 afirmó que *“estas vibraciones viajan por el aire a manera de ondas sonoras a través de las partículas hasta llegar al oído”* (bitácora); similar a lo que consideran E4 y E5 sobre la situación S3, por ejemplo, que *“las vibraciones que genera el tambor viajan por el medio –aire– perturbando sus partículas (...) dichas vibraciones entendidas como ondas llegan al oído”* (E4, bitácora) y que

el sonido es producido por una fuerza ejercida sobre el tambor que produciría una compresión del aire dentro de este que produce una vibración que es devuelta como una onda, es decir una perturbación que se da en el espacio. (E5, bitácora)

A partir de esto, se podría afirmar que la mayoría de los participantes contaban con reglas de acción e invariantes operatorios coherentes para este tipo de situaciones.

Luego de enfrentarse a las situaciones propuestas, E5 planteó una regla de acción para solucionar la situación S5, justificando que *“al hacer vibrar las moléculas que hay aquí (alrededor de las copas), podemos crear ese sonido que necesitamos... esas ondas para hacer mover los palillos”* (bitácora), lo que da cuenta de un progresivo dominio del concepto de ondas sonoras. Además, se pudo observar que en los demás participantes, los esquemas comenzaron a complejizarse con el uso de conceptos como *rarefacción* y *compresión* para explicar las zonas de mayor y menor densidad de partículas dentro de un tubo; este es el caso del participante E7, que inicialmente tenía esquemas insuficientes para explicar la manera en que se transporta una onda sonora; por ejemplo, para explicar cómo llega el sonido producido por un tambor hasta los oídos, argumentaba de manera superficial que *“la intensidad del sonido [...] se encuentra en el umbral de audición”* (bitácora). No obstante, en el documento elaborado durante el proyecto grupal, que consistía en la elaboración de un instrumento musical de viento, aportó que:

...las ondas sonoras, son ondas mecánicas que se generan por vibraciones que cambian como la presión en el instrumento, entonces, al generarse esta presión [...] las moléculas de gas que hay ahí, se van a generar zonas de compresión y rarefacción, donde la presión es la máxima y otra parte donde no hay moléculas. (Informe del Proyecto)

C. La longitud de onda es inversamente proporcional a la frecuencia

En cuanto a la relación entre frecuencia y longitud de onda, se tuvieron en cuenta las soluciones de los participantes a las situaciones S4, S6 y S7. Inicialmente los participantes E1 y E9 presentaban una confusión, pues afirmaban que estas variables eran directamente proporcionales. Por su parte, el participante E6 señaló que la velocidad del sonido aumentaba al disminuir la longitud del pitillo, lo cual es incongruente, pues dicha velocidad es una constante, siempre y cuando la onda se propague por el mismo medio, que para este caso era el aire. En este sentido, los invariantes operatorios utilizados por los participantes mencionados se clasifican como insuficientes, pues no están en consonancia con los conceptos, transformaciones y relaciones entre variables del campo conceptual en cuestión.

Si bien los participantes E2, E5, E7 y E8 logran hacer una relación adecuada entre frecuencia, tono y longitud del pitillo, al manifestar, por ejemplo, que “a mayor frecuencia el sonido es más agudo y a menor frecuencia el sonido es más grave” (E8, bitácora), o que “entre menos largo sea el pitillo mayor va a ser el sonido emitido ya que el aire recorre menos distancia” (E2, bitácora); no lograron establecer relaciones entre estas variables y la longitud de onda. De igual manera, esta dificultad se pudo observar en algunas de las reglas de acción propuestas por los participantes para abordar la situación S4. Por ejemplo, E9 afirmó que “el sonido se vuelve más agudo cada vez que cortamos el pitillo (...) su longitud de onda se reduce, al igual que la frecuencia” (bitácora), lo que llevó a concluir que los invariantes operatorios y las reglas de acción utilizadas por estos participantes eran aceptables de acuerdo con el campo conceptual abordado.

En el diagnóstico, solo los participantes E3 y E4 utilizaron invariantes operatorios pertinentes para las situaciones planteadas; establecieron una relación adecuada entre la longitud del pitillo, la longitud de onda, la frecuencia y el tono asociado a dicha frecuencia; así mismo, establecieron como reglas de acción que “a menos longitud del medio por donde se propaga la onda, la frecuencia y amplitud de esta comienza a aumentar y su longitud de onda a disminuir” (E4, bitácora) y que “al cortar el pitillo se disminuye la longitud de onda y por ende la frecuencia aumenta generando así un tono más agudo” (E3, bitácora).

Durante la segunda fase de la experiencia, se observó que los participantes E1, E5, E6 y E8 continuaban sin relacionar la longitud de onda con la frecuencia, por lo tanto, aun sus invariantes operatorias y sus reglas de acción se clasificaban como aceptables. No obstante, después de realizar las últimas dos sesiones en las que se determinó la rapidez del sonido y se diseñaron los instrumentos de viento, los participantes explicitaron invariantes operatorios y reglas de acción pertinentes para las situaciones que abordaban, incluso complejizando sus esquemas con nuevos conceptos como *amplitud*, *nodo* y *antinodo*. Por ejemplo, al indagar por cómo encontraron la rapidez del sonido, uno de los grupos afirmó que

la frecuencia nos la arrojaba el osciloscopio, entonces teniendo en cuenta la distancia que había entre nodo y antinodo, [...] lo multiplicamos por 4 y así nos daba la longitud de onda y después lo multiplicábamos por la frecuencia y hallábamos la velocidad del sonido. (E8, E3 y E6, informe actividad experimental rapidez del sonido)

En cuanto a la elaboración del instrumento, otro de los grupos afirmó que “a medida que íbamos aumentando la frecuencia, la longitud de onda encontrada era mucho menor, lo cual es acorde a la teoría, al igual que si aumentábamos la frecuencia la distancia entre el nodo y en antinodo era menor” (E5, E2 y E7).

Particularmente los participantes E9 y E1 que habían utilizado los siguientes teoremas en el diagnóstico “el sonido se vuelve más agudo cada vez que cortamos el pitillo (...) su longitud de onda se reduce, al igual que la frecuencia” (E9) y “estamos disminuyendo su longitud (...) lo que hace el sonido sea más grave, ya que la frecuencia es menor” (E1), lograron transformar sus esquemas de insuficientes a pertinentes. Lo anterior se ve evidenciado en una de las conclusiones que hicieron en el informe de actividad experimental sobre la rapidez del sonido: “la relación que presenta la frecuencia y la longitud de onda es inversa, es decir que mientras una aumenta la otra disminuye” (E1, E4 y E9).

Por lo anterior, en cuanto al dominio de la relación entre longitud de onda y frecuencia, se obtuvo que inicialmente el 33,3% (E1, E6 y E9) de los participantes utilizaron esquemas insuficientes, el 44,4% (E2, E5, E7 y E8) aceptables y el 22,2% (E3 y E4) pertinentes. Al final, después de analizar las entrevistas y los informes de las actividades experimentales, el 100% del grupo de estudiantes utilizó esquemas pertinentes para abordar situaciones relacionadas con el cambio de las frecuencias cuando variaba la longitud de onda. Cabe aclarar que las conclusiones de los informes y las propuestas generadas para responder a

ciertas situaciones son construidas en grupo; en este sentido, se hace necesario un análisis posterior que permita profundizar en los esquemas de manera particular.

A nivel general, se puede señalar que conforme iba avanzando la propuesta, el grupo de participantes iba complejizando sus esquemas con la incorporación de nuevos teoremas en acción, la inclusión de nuevas categorías de pensamiento (conceptos en acción) y la generación de secuencias de acción acordes a las situaciones a las que se enfrentaban. Lo anterior da cuenta de una adaptación parcial al campo conceptual y por tanto de un proceso de conceptualización.

VII. CONCLUSIONES

Se considera que esta experiencia hace una importante contribución a la enseñanza de la física desde diferentes perspectivas; la primera de ellas se refiere a los procesos de conceptualización que pueden lograrse en la actividad experimental en física, a partir de la solución de situaciones novedosas que incluían tareas que favorecían diferentes procesos cognitivos como la adaptación de los esquemas, mediante la evolución de los invariantes operatorios y las reglas de acción. La segunda se refiere a la manera en que este estudio permitió transformar la imagen técnico-instrumental que tenían los participantes de la actividad experimental en física, donde ya no es visto como un espacio que se reduce a la recolección de datos para comprobar una teoría, sino que se constituye en una oportunidad para favorecer la conceptualización en los procesos de enseñanza y aprendizaje de las ciencias. Por último, es importante resaltar que un estudio de estas características favorece ampliamente la apropiación crítica del uso de tecnologías como los SAD, trascendiendo la visión instrumentalista que ha predominado sobre las mismas y encontrando en ellas herramientas altamente potenciales para favorecer los procesos de construcción de conocimiento.

A partir del desarrollo y de los resultados obtenidos en la experiencia, se exponen algunas recomendaciones en cuanto al uso de los SAD, con el propósito de contemplar los posibles contextos en los cuales se puede llevar a cabo y buscando enriquecer la línea de investigación en esta temática. Se recomienda que se realice inicialmente una actividad de carácter exploratorio, en la que se ilustre su funcionamiento, conexiones, y otros aspectos de carácter técnico que son básicos para su uso, pero que su desconocimiento contribuye a continuar con la visión instrumentalista de esta herramienta y puede generar el desinterés y la desmotivación por parte de profesores y estudiantes.

De otro lado, se considera que la actividad experimental en la formación de profesores no puede reducirse a prácticas de laboratorio de una sola sesión de pocas horas, en la que escasamente se alcanzan a recolectar datos que luego se utilizan para verificar teorías que son impuestas por el diseño de un programa, en el que no siempre se tiene en cuenta el carácter epistemológico de la ciencia. Por lo cual, el planteamiento de situaciones puede ser una alternativa para que el estudiante ponga en acción los esquemas que ha construido durante su formación y pueda modificarlos o enriquecerlos en este espacio de aprendizaje.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Comité para el Desarrollo de la Investigación (CODI) de la Universidad de Antioquia y a su convocatoria programática Ciencias Sociales, Humanidades y Artes 2016, por la financiación total del proyecto de investigación que da lugar a este estudio.

REFERENCIAS

Andrés, M., Pesa, M. y Meneses, J. (2008). Efectividad de un laboratorio guiado por el modelo de aprendizaje MATLaF para el desarrollo conceptual asociado a tareas experimentales. *Enseñanza de las Ciencias*, 26(3), 343-358.

Araujo, I. y Veit, E. (2008). Interatividade em recursos computacionais aplicados ao ensino-aprendizagem de física. *Anais da 14ª Jornada Nacional de Educação*. Santa Maria, Brasil: Editora da Unifra.

Araujo, I., Veit, E. y Moreira, M. (2004). Uma revisão da literatura sobre estudos relativos a tecnologias computacionais no ensino de Física. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, 4(3), 5-18.

- Bravo, S., Pesa, M. A. y Sahelices, M. C. C. (2009). Representaciones de alumnos universitarios sobre propagación de ondas mecánicas. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, 27(3), 405-420.
- Caamaño, A. (2004). Experiencias, experimentos ilustrativos, ejercicios prácticos e investigaciones: ¿una clasificación útil de los trabajos prácticos? *Alambique*, 39(8), 19.
- Cortés, A., y De la Gándara, M. (2007). La construcción de problemas en el laboratorio durante la formación del profesorado: una experiencia didáctica. *Enseñanza de las Ciencias*, 25(3), 435-450.
- Fiolhais, C. y Trindade, J. (2003). Física no Computador: o Computador como uma Ferramenta no Ensino e na Aprendizagem das Ciências Físicas. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 25(3), 259-272.
- Haag, R., Araujo, I. y Veit, E. (2005). Por que e como introducir a aquisição automática de dados no laboratório didático de física? *Física na escola*, 6(1), 69-74.
- Jaime, E. y Escudero, C. (2011). El trabajo experimental como posible generador de conocimiento en enseñanza de la física. *Enseñanza de las ciencias*, 29(3), 371-380.
- Menezes, M., Schiel, D., Müller, I. y Marega, E. (2002). Utilizando Tecnologia Computacional na Análise Quantitativa de Movimentos: Uma Atividade. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 24(2), 97-102.
- Ministerio de Educación Nacional de Colombia. (2004). Formar en ciencias: ¡el desafío! Lo que necesitamos saber y saber hacer. Serie guía No. 7. Estándares básicos de competencias en Ciencias Naturales y Ciencias Sociales. Recuperado de en <http://www.eduteka.org/pdfdir/MENEstandaresCienciasSociales2004.pdf>
- Moreira, M. (2002). La teoría de los campos conceptuales de Vergnaud, la enseñanza de las ciencias y la investigación en el área. *Investigaciones en Enseñanza de las Ciencias*, 7(1), 1-28.
- Otero, M., Fanaro, M., Sureda, P., Llanos, V., y Arlego, M. (2014). *La Teoría de los Campos Conceptuales y la Conceptualización en el Aula de Matemática y Física*. Argentina: Dunken.
- Palmero, M y Moreira, M. (2004). La Teoría de los Campos Conceptuales de Gerard Vergnaud. Texto de apoyo del Programa Internacional de Doctorado en Enseñanza de las Ciencias (PIDEC).
- Pérez, M. y Esper, L. B. (2005). Algunos problemas en la conceptualización de ondas mecánicas. *Enseñanza de las Ciencias*, (Extra), 1-6.
- Sureda, P. y Otero, M. (2011). Nociones fundamentales de la Teoría de los Campos Conceptuales. *Revista electrónica de investigación en educación en ciencias*, 6(1), 124-138.
- Vergnaud, G. (1990). La teoría de los campos conceptuales. *Recherches en didactique des mathématiques*, 10(2), 133-170.
- Welti, R. (2002). Concepciones de estudiantes y profesores acerca de la energía de las ondas. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, 20(2), 261-270.
- Wittmann, M., Steinberg, R. y Redish, E. (2003). Understanding and affecting student reasoning about sound waves. *International Journal of Science Education*, 25(8), 991-1013.