



# Actividades didácticas para el tono como cualidad del sonido, en cursos de física del nivel básico, mediadas por la tecnología digital

Educational activities for the pitch, as a quality of sound, in basic level physics courses, mediated by digital technology

Carlos Armando Cuevas Vallejo, Freddy Yesid Villamizar Araque, Alfredo Martínez Uribe  
*Departamento de Matemática Educativa. Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN*  
ccuevas@cinvestav.mx • freddymatedu@gmail.com, fvillamizar@cinvestav.mx • alfyfymago@hotmail.com, amartinezu@cinvestav.mx

**RESUMEN** • El propósito de este artículo es promover la comprensión del tono como cualidad del sonido y de los conceptos matemáticos asociados a su modelización, mediante el diseño y la aplicación de actividades didácticas. El concepto de sonido y sus cualidades forman parte del programa de estudios de segundo grado de la educación básica de física en México y del cuarto grado de secundaria en Colombia (edades entre 13 y 15 años). Para el diseño de las actividades se requirió el empleo de aplicaciones informáticas (apps) dispuestas en dispositivos móviles como laboratorio portable, un marco didáctico y el desarrollo de una propuesta de modelización. La experiencia se implementó en dos países y se desarrolló en cuatro fases. Se mostrarán evidencias del cambio conceptual en los estudiantes.

**PALABRAS CLAVE:** didáctica; modelización; sonido; ideas previas; dispositivos digitales móviles.

**ABSTRACT** • The purpose of this paper is to encourage pitch understanding as quality of sound and mathematical concepts associated to its modelling, through the design and application of didactic activities. Sound as a concept and its qualities are part of the studies of second degree physics basic education program in Mexico, and fourth degree of secondary in Colombia (ages between 13 and 15 years). For the design of the activities it was necessary to use computer applications (apps) arranged in mobile devices as a portable laboratory, a didactic framework and the development of a modelling proposal. The experience was implemented in two countries and was developed in 4 phases. Evidences of conceptual change in students will be shown.

**KEYWORDS:** didactic; modelling; sound; previous ideas; mobile devices.

Recepción: abril 2016 • Aceptación: abril 2017 • Publicación: noviembre 2017

Cuevas Vallejo, C. A., Villamizar Araque, F. Y., Martínez Uribe, A., (2017) Actividades didácticas para el tono como cualidad del sonido, en cursos de física del nivel básico, mediadas por la tecnología digital. *Enseñanza de las Ciencias*, 35.3, pp. 129-150

## INTRODUCCIÓN

Investigaciones en enseñanza de las ciencias han reportado que una forma de promover la comprensión de los conceptos científicos es a través del denominado *cambio conceptual (CC)*. En el caso particular del presente artículo, nos hemos enfocado en el sonido y concretamente en una de sus cualidades, el tono. De acuerdo con el CC, las ideas previas que los estudiantes tienen acerca de esta cualidad del sonido deben ser confrontadas mediante la experimentación, con la intención de que puedan modificarlas o validarlas, y describir la cualidad física. Consideramos que la interpretación del tono como cualidad física del sonido no debe quedar en un nivel cualitativo, sino que los estudiantes deberían ser capaces de construir otras representaciones que les permitan reconocer de manera más objetiva sus propiedades. Esto es, entender las relaciones que se establecen entre magnitudes o sistemas de magnitudes que en nuestro caso están presentes en una representación gráfica del sonido. Es por ello por lo que nos cuestionamos ¿cómo promover la comprensión del tono, como una cualidad del sonido, por medio de actividades didácticas?

Por otra parte, el desarrollo de la tecnología digital evoluciona a pasos agigantados proveyendo herramientas que permiten la simulación de un laboratorio en un dispositivo móvil, por tal motivo es importante promover su uso y aprovechamiento en la enseñanza de las ciencias experimentales.

## MARCO TEÓRICO

En el proceso de aprendizaje de las ciencias se ha encontrado que más allá de la falta de realización de experiencias de laboratorio y la resolución de problemas, hace falta enfatizar la adquisición de los conceptos científicos (Viennot, 1979; Carrascosa, 2005). Este problema parece estar relacionado con las ideas asociadas a lo que algunos han denominado *razonamiento común* (Viennot, 2002). Ideas que con frecuencia resultan incorrectas para explicar algún fenómeno, que han sido objeto de estudio desde finales de los setenta en diversos trabajos de investigación (Viennot, 1979; McDermott, 1984; Carrascosa, 1983, 2005; Manrique, Varela y Favieres, 1989) y desde entonces se ha considerado como una línea de investigación importante en la didáctica de las ciencias.

En este contexto, todas aquellas ideas que utilizan los estudiantes para la interpretación de diversos fenómenos antes de recibir una instrucción se conocen como *ideas previas* (Hierrezuelo y Montero, 2006) o *concepciones alternativas* (Carrascosa, 2005), entre otras denominaciones según su origen epistemológico. En este caso se hará referencia a ellas como ideas previas.

Aunque existen otros acercamientos para la educación en ciencias, como el *modelo basado en la investigación* (Windschitl, Thompson, y Braaten, 2008), adoptamos el CC porque considera que aquellas ideas previas opuestas a los conceptos o representaciones aceptados por la comunidad científica sean reemplazadas (Posner, Strike, Hewson y Gertzog, 1982; Driver, 1988; Campanario y Moya, 1999). Según Pozo (2007) las ideas previas no necesariamente deben ser reemplazadas, sino considerarlas como *piezas de conocimiento* que deben ser reestructuradas, es decir, en la identificación y estudio de las ideas previas se puede considerar el CC como una reconstrucción de la interpretación de la realidad. El CC se considera un paradigma que se ha venido fortaleciendo como campo de investigación y práctica educativa en la enseñanza de las ciencias, reformas educativas, así como otras áreas (Hewson, 1992; Vosniadou, 2014).

La forma de ver al *estudiante como científico* considerada dentro del CC (Marín y Cárdenas, 2011) no significa que el estudiante vaya a serlo, pero sí que adquiera ciertas habilidades, valores y aptitudes de los científicos, como *la curiosidad, la apertura a nuevas ideas, el escepticismo formal* (AAAS, 1990); pensamiento lógico, ampliar o cambiar las representaciones de los fenómenos naturales, desarrollar estructuras conceptuales más complejas de forma progresiva, aplicar estrategias cognitivas y técnicas para la resolución de problemas científicos (Nieda y Macedo, 1997).

En nuestra propuesta partimos de un fenómeno natural para ilustrar un concepto de la física, mediante su modelización. Jaime y Gutiérrez (1990) consideran que un modelo es una representación simplificada de un fenómeno real que a su vez puede ser químico, físico, matemático, y todo modelo científico debe tener poder predictivo, explicativo y descriptivo (Oh y Oh, 2011), por esta razón, se requiere un modelo matemático que tiene como objetivo describir matemáticamente una situación del mundo real que se presenta con determinada frecuencia. Aunque no se puede afirmar que todo fenómeno natural se pueda modelizar matemáticamente, es lo que debería pretender toda teoría científica (Hawking, 2001).

Una forma de llegar a un modelo matemático es a través de la modelización matemática, definida por Confrey y Maloney (2007: 60) como «el proceso de enfrentar una situación indeterminada, problematizarla, produciendo investigación, razonamiento, y estructuras matemáticas para transformar dicha situación». El modelo más simple de la modelización matemática se muestra en la figura 1.

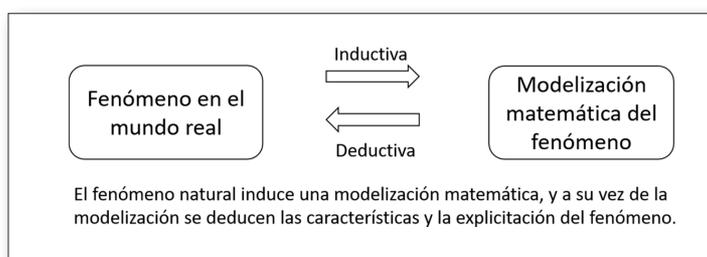


Fig. 1. Modelización matemática de fenómenos científicos.

Touma (2009), a partir del modelo anterior, desarrolla otro más explícito que incluye *registros de representación semiótica (RRS)* y los *procesos de interpretación inductiva y deductiva*. En la idea de establecer un modelo que guíe el diseño de actividades didácticas (AD) y dé cuenta de todos los actores en la situación de enseñanza, hemos propuesto otro, denominado CUVIMA, que se muestra en la figura 2.

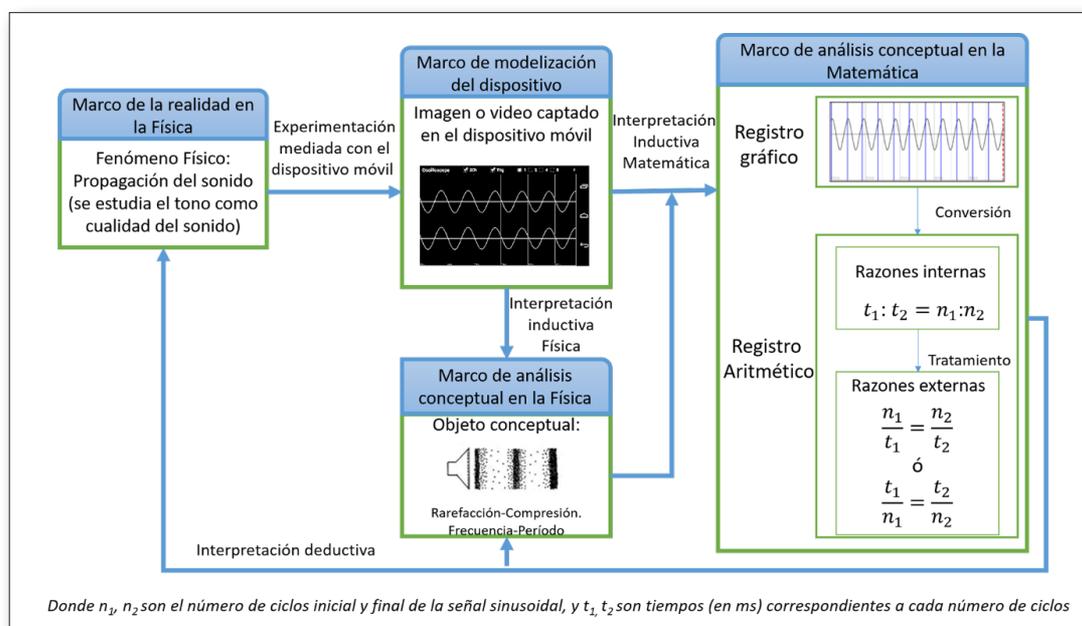


Fig. 2. Modelo de interpretación inductiva-deductiva CUVIMA.

El modelo CUVIMA se aplicó en este estudio para el diseño de actividades didácticas que promuevan la comprensión del tono como cualidad del sonido, y se compone de cuatro marcos, que son:

- *Marco de la realidad de la física*: comprende el fenómeno físico, que en este caso es la propagación del sonido. Aquí el estudiante realiza una experimentación del fenómeno.
- *Marco de modelización del dispositivo móvil*: en el presente modelo la inclusión de las tecnologías digitales juega un papel importante en la transformación de los datos experimentales en una representación gráfica, la cual puede interpretarse desde el punto de vista de la física y/o la matemática. La imagen obtenida por el dispositivo móvil sobre los datos experimentales obvia la construcción de la gráfica que representa el fenómeno, por lo tanto, el estudiante no se ve obligado a realizar un ajuste de curva de los datos experimentales en un registro gráfico. La gráfica que modeliza el dispositivo móvil sobre el fenómeno físico experimentado puede considerarse un RRS si cumple ciertas reglas de conformidad en el sentido de Duval (1998).
- *Marco de análisis conceptual en la física*: la gráfica obtenida por el dispositivo móvil de los datos experimentales puede interpretarse conceptualmente en la física. Al proceso cognitivo de interpretación de los datos experimentales, obtenidos en el dispositivo móvil, en relación con conceptos de la física, lo denominamos *interpretación inductiva física*. En este caso, por ser una gráfica que representa el sonido, se interpreta como la perturbación de un medio material que genera compresiones y rarefacciones a cierta frecuencia y periodo. El análisis se hace de acuerdo con lo que permita el nivel académico de los estudiantes.
- *Marco de análisis conceptual matemático*: el proceso de construir un modelo matemático para interpretar el fenómeno físico a partir de la información obtenida en la experimentación es denominado *interpretación inductiva matemática*; sin embargo, la participación de los estudiantes en el modelo matemático que debe construir depende de su nivel académico, por lo que el soporte que proporciona el dispositivo móvil es importante para obviar el modelo matemático.

En el presente estudio, dentro del registro gráfico, la figura sinusoidal obtenida por el dispositivo móvil representa un sonido armónico-temporal. Esta gráfica puede representarse en otros RRS, como el algebraico a través de las funciones trigonométricas, o en el aritmético a través del valor numérico sustituido en las razones internas o externas, en donde  $n_1$  y  $n_2$  representan el número de ciclos inicial y final de una curva sinusoidal en sus respectivos tiempos  $t_1$  y  $t_2$  (figura 2).

Para pasar de un registro gráfico al aritmético se realiza un proceso de *conversión*, definido como una actividad cognitiva que permite la transformación de una representación de un registro a otro diferente. Al proceso de transformación de una representación en otra, dentro de un mismo registro, se le denomina *tratamiento* (Duval, 1998). Las expresiones matemáticas dentro de los RRS en el marco de análisis conceptual matemático contienen información de un fenómeno. Al proceso de interpretar el fenómeno inicial o predecirlo a partir de distintos RRS, lo denominamos *interpretación deductiva*.

En síntesis, el presente artículo tiene la intención de utilizar las ideas previas de los estudiantes como piezas de conocimiento, mediante el proceso de refinamiento de sus representaciones y los procesos cognitivos asociados a la comprensión de las ciencias, incluidos en el modelo CUVIMA, el cual integra el uso de los dispositivos móviles como laboratorio portátil y una propuesta didáctica. El modelo CUVIMA se aplica para organizar actividades alusivas al tono como cualidad del sonido, relacionado con las variables de frecuencia y período.

Previo a la enseñanza escolarizada, los estudiantes tienen un conocimiento acerca de qué es el sonido y cómo se propaga, debido a que se trata de una experiencia cotidiana. Dicho conocimiento no necesariamente concuerda con una definición científicamente aceptada.

Según Wittmann, Steinberg y Redish (2003) el cómo se propaga el sonido es algo difícil de comprender para los estudiantes, debido a que su percepción es auditiva y no visual. Existen diversos estu-

dios sobre el razonamiento de los estudiantes acerca de la propagación del sonido, donde se evidencian modelos comúnmente usados, como el de *entidad* (Hrepic, Zollman y Rebello, 2010) y *partícula* (Maurines, 1993). En otros casos, se identifican representaciones del sonido como notas musicales, ruido, comunicación (Driver, Squires, Rushworth y Wood, 1994; Perales, 1997; Eshach y Schwartz, 2006; Aizicson y Cudmani, 2007), el sonido como sustancia (Linder, 1993) y proceso vibratorio (Mazens y Lautrey, 2003). Algunos estudios sugieren introducir el sonido como procesos de transferencia de energía, y no como procesos de los objetos (Lawrence, 2008).

Por otra parte, se ha estudiado lo que piensan los estudiantes sobre la propagación del sonido enfocándose en sus características, como la velocidad (Linder, 1993; Maurines, 1993). Hernández, Couso y Pintó (2012) propusieron una secuencia de enseñanza-aprendizaje sobre las propiedades acústicas de los materiales, utilizando herramientas tecnológicas digitales para la experimentación referente a la atenuación del sonido, relacionándola con la amplitud de una onda sonora. En nuestro estudio nos centramos en lo que piensan los estudiantes sobre el tono, relacionándolo con la frecuencia y el período. Además, estructuramos las ideas previas de los estudiantes sobre la propagación del sonido en tres representaciones o modelos: el sonido que se transmite a través de un dispositivo, el sonido producido por la acción de un ser vivo y el sonido como ondas, sin tener una representación científicamente aceptada.

Para Cromer (1978) el sonido es una onda mecánica longitudinal que se propaga en diferentes medios, y establece que su configuración puede ser *periódica* o *aperiódica*. Mazens y Lautrey (2003) y Hernández *et al.* (2012) definen el sonido como el evento producido por las vibraciones de un objeto perturbado mecánicamente por una fuente de energía. Esas vibraciones se propagan en un medio elástico que gradualmente transmite compresiones y rarefacciones de este, sin transporte de materia.

La frecuencia, característica del sonido, es una magnitud que determina el número de veces que se repite un evento en cada segundo y se mide en Hertz (Hz). Tiene un significado *psicofisiológico directo*, es decir, en el humano el sonido es audible entre 20 y 20000 Hz y lo percibe como un tono grave a bajas frecuencias, o agudo si son altas (Cromer, 1978). El tono como cualidad del sonido se percibe de acuerdo con la combinación de frecuencias con las que se emite.

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Puesto que la propagación de algunas señales, como la del sonido, se puede representar de *forma espacial y temporal* (Viennot, 2002), consideramos que deben ser diferenciadas para evitar posibles *representaciones epistemológicas* erróneas (Artigue, 1990), que inducen a errores conceptuales, como confundir el movimiento de una onda mecánica longitudinal con el de una transversal (Linder, 1992).

En nuestro caso, para determinar la frecuencia, es necesario obtener una representación temporal del sonido, donde se puedan contar el número de ciclos ( $n$ ) de la onda en determinado tiempo ( $t$ ) (véase figura 3). Esta información es relevante porque son los elementos que conforman las razones, que a su vez definen la frecuencia.

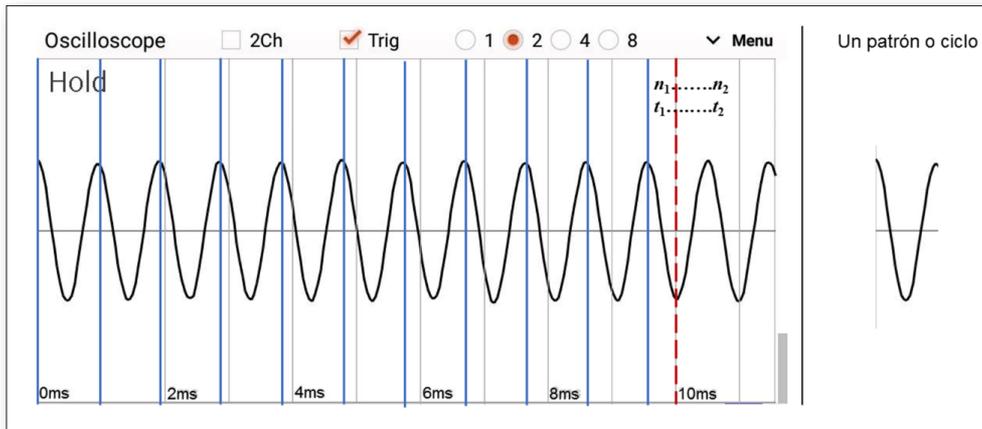


Fig. 3. Representación de la nota DO captada por la app oscilloscope en 10 ms (modificada).

Según Freudenthal (2001) la razón formada entre dos cantidades de un mismo sistema se denomina *razón interna*, que vista como cociente es un número adimensional. Por ejemplo: la razón entre números de ciclos  $n_1:n_2$  ( $n_1$  es a  $n_2$ ) y la razón entre tiempos  $t_1:t_2$ . Asimismo, la razón formada entre dos cantidades de sistemas diferentes se denomina *razón externa*, que vista como cociente se considera una nueva magnitud, por ejemplo:  $n_1:t_1$  o  $n_2:t_2$ . Freudenthal considera que pasar de razones internas a externas no es sencillo para los estudiantes.

Como dichas razones internas son equivalentes se puede establecer que  $n_1:n_2 = t_1:t_2$ . Si se realiza un tratamiento de la proporción anterior, intercambiando los términos medios  $n_2$  y  $t_1$ , se forman razones externas equivalentes  $n_1:t_1 = n_2:t_2$ , las cuales forman una nueva magnitud denominada frecuencia, quedando definida como la cantidad de ciclos de un suceso por unidad de tiempo.

Del inverso de la frecuencia se obtienen razones equivalentes  $t_1:n_1 = t_2:n_2$ , formándose otra nueva magnitud denominada período, definido como el tiempo que tarda un ciclo en ejecutarse.

## PROPUESTA DIDÁCTICA

De acuerdo con Saltiel y Viennot (1985) las ideas previas pueden proporcionar pistas para generar estrategias de enseñanza-aprendizaje, que a su vez pueden ser el punto de partida para el diseño de AD (Hernández *et al.*, 2012) y no «el fin de la historia» (Driver *et al.*, 1994: 8). Adicionalmente, sugerimos que el diseño de dichas actividades tenga como propósito promover el CC.

Las AD del presente estudio están fundamentadas en la didáctica Cuevas y Pluinage (2003), cuyo primer punto sugiere introducir un concepto diseñando un proyecto de acción, en nuestro caso una situación experimental que motive al estudiante a realizar la acción.

Como la experimentación no es suficiente para la interiorización de los conceptos, consideramos además otros puntos de la didáctica Cuevas y Pluinage (2003) como: el uso de los RRS para la modelización, procesos de operación inversa (de una interpretación inductiva a la deductiva y viceversa), asociatividad (diversas formas de solución), discusión grupal y una aplicación posterior del concepto en una situación distinta a aquella en la que se enseñó. A partir de los modelos explicativos de los estudiantes y una discusión previa, iniciamos las actividades mediadas con el dispositivo móvil, las cuales fueron diseñadas bajo el esquema didáctico con el cual se promueve el cambio conceptual, y en consecuencia se promueve que el estudiante construya los conceptos de manera significativa en el sentido de Ausubel, Novak y Hanesian (2012).

Ahora bien, dotar de un laboratorio equipado de física con dispositivos de medición de alta calidad al sistema educativo de cualquier país es un proyecto costoso, lo que representa a veces una limitación para plantear situaciones didácticas a partir de experimentos.

Al mismo tiempo, el avasallador desarrollo de la tecnología digital disponible actualmente en los teléfonos inteligentes (smartphones), tablets, etc., junto con diversas aplicaciones informáticas llamadas app, pueden emular diversos instrumentos de medición como los osciloscopios.

Estos dispositivos de uso frecuente pueden jugar el rol de laboratorios portables, con las siguientes ventajas:

- Una gran cantidad de los estudiantes cuentan con un teléfono inteligente.
- La mayoría de las aplicaciones son de distribución gratuita.
- Los estudiantes están familiarizados con su uso y dominio.
- Son pequeños y transportables, por lo que no requieren espacios especiales.

Esta idea no es nueva, diversos investigadores en el plano internacional proponen el uso de los dispositivos móviles como tablets y smartphones, simulando laboratorios mediante sus aplicaciones, que proporcionan herramientas para la experimentación en el aula de fenómenos físicos como el movimiento (Lanz, 2014; Monteiro, Cabeza y Martí, 2014). Otros proponen el uso de dispositivos para realizar un aprendizaje práctico y colaborativo (Vázquez, 2014). Alusivo a las ondas, Klein, Hirth, Gröber, Kuhn y Müller (2014) proponen el uso del smartphone para el análisis experimental del efecto doppler. Forinash y Wishman (2012) realizan un diseño electrónico para adaptar el smartphone como un *osciloscopio portable*.

Dentro del contexto educativo consideramos que, además del uso de los dispositivos móviles, es importante diseñar una estrategia de enseñanza para la construcción de los conceptos físicos. En nuestro caso proponemos: partir de las ideas previas, aplicar un modelo didáctico y organizar las AD bajo el modelo CUVIMA, con la intención de promover un cambio conceptual. Las AD que son alusivas al tono como cualidad del sonido se describirán en la siguiente sección, en el apartado de diseño de los instrumentos y AD.

## METODOLOGÍA

Para llevar a cabo la experiencia didáctica se establecieron las siguientes fases:

Fase 1. Selección de instrumentos para llevar a cabo la experimentación física

En esta fase, para producir el sonido, se eligió una flauta dulce, por ser un instrumento obligatorio en secundaria, que permitió emitir algunas notas musicales. Luego, se exploraron diversas aplicaciones móviles que permitieran visualizar una representación del sonido. Se seleccionó la app *oscilloscope*<sup>1</sup> para capturar señales de sonidos y con el mismo dispositivo realizar fotos a la pantalla (screenshot).

Fase 2: Diseño de la primera experiencia didáctica

De la exploración se propusieron dos notas musicales que se pudieran diferenciar gráficamente al ser captadas en el osciloscopio. Enseguida elaboramos, de acuerdo con el modelo didáctico, las actividades en tres secuencias de hojas de trabajo y un manual de instrucciones para el maestro que incluyó el uso del osciloscopio.

1. App oscilloscope: aplicación para smartphone de licencia gratuita que emula el funcionamiento de un osciloscopio para capturar señales gráficas de algún sonido a través del micrófono del celular. La representación del sonido es en determinada amplitud *vs.* tiempo.

Después de elaborar las secuencias didácticas, proseguimos a la elaboración de los instrumentos de medición que consistieron en un pretest y un postest.

Posteriormente planteamos el siguiente escenario: separar al grupo en subgrupos de tres estudiantes, uno que tocara la flauta, otro que capturara el sonido y el tercero anotaría los resultados en las hojas de trabajo.

#### Fase 3: Aplicación de la primera experiencia didáctica

La primera experiencia fue aplicada a 120 estudiantes en México entre los 13 y 14 años de edad de los cuales algo más del 60 % contaban con un smartphone. Se aplicó el pretest para recopilar las ideas previas acerca del tono y una secuencia didáctica para construir dicho concepto. Antes de la aplicación del pretest y las actividades, se realizó en el aula una exploración para conocer el dominio del dispositivo móvil que poseen los estudiantes. Debido a las limitaciones de tiempo no se pudo aplicar el postest.

A pesar de las circunstancias se lograron varias cosas:

1. Adecuar el nivel de lenguaje en las hojas de trabajo para que fuera más apropiado a los estudiantes.
2. Identificar ideas previas.
3. Mejorar la graduación de la secuencia didáctica de las hojas de trabajo.
4. Surgió un diseño más adecuado de las actividades y reelaboración de los instrumentos de medición (pretest y postest), los cuales fueron aplicados en la segunda experiencia didáctica.

#### Fase 4: Segunda experiencia didáctica

La segunda experiencia didáctica se aplicó a 3 grupos con un total de 60 estudiantes de secundaria en Colombia, entre los 14 y 15 años de edad. En este caso el 100 % contaban con smartphone. Antes de la experiencia se enviaron al profesor instrucciones, actividades y pretest. La experiencia didáctica se llevó a cabo en el siguiente orden:

- Aplicación del pretest mejorado (sesión de una hora).
- Exploración del dominio de los estudiantes sobre las apps, de donde surgió el escenario de subgrupos de tres alumnos: el primero se encargó de tocar la flauta muy cerca del smartphone, el segundo de usar el smartphone y el tercero de dirigir y contestar las actividades (sesión de hora y media). Se observó que los estudiantes obtenían mejores resultados en la captura de señales de sonidos, al emitir notas más agudas, como do y re, muy cerca del micrófono del dispositivo móvil.
- Aplicación de las AD, discusiones grupales y entrevistas (sesión de hora y media para cada rubro).
- Aplicación del postest (1 sesión de hora y media).

Para recopilar la información se elaboró una bitácora, se hicieron videograbaciones, entrevistas y se analizaron las respuestas a las hojas de trabajo. Se realizó una clasificación taxonómica de respuestas comunes respecto a las ideas del primer estudio y se describieron cualitativamente los procedimientos utilizados por los estudiantes en las actividades.

Respecto del segundo estudio, se analizaron las ideas previas respecto del tono, frecuencia y período recopiladas del pretest, se realizó una descripción cualitativa de los procedimientos matemáticos utilizados por los estudiantes en las actividades y finalmente se analizaron las respuestas del postest.

Del pretest y postest se analizaron las respuestas comunes y finalmente se clasificaron como adecuadas e inadecuadas para obtener un porcentaje de cada una. Se contrastaron las respuestas adecuadas, lo que se consideró como evidencia de un posible CC de las ideas previas de los estudiantes sobre el tono, asociado a la frecuencia y período.

## Diseño de los instrumentos de medición y AD

El instrumento de medición pretest consistió en un cuestionario donde se formularon preguntas abiertas acerca del sonido y en particular del tono.

El segundo instrumento de medición o postest consistió en un cuestionario dividido en 7 secciones (identificadas más adelante como P1 a P7) con preguntas abiertas similares al pretest y a las AD.

Las AD constan de dos partes:

1. Instrucciones de uso de la app: es un manual que contiene las instrucciones que guían al profesor y los estudiantes a familiarizarse con la aplicación osciloscopio. El profesor instruye a los estudiantes en el uso del dispositivo móvil como un instrumento de laboratorio en el aula.
2. Secuencia didáctica: sigue algunos principios de la didáctica Cuevas y Pluinage (2003). Se parte del contexto de la música para representar gráficamente el sonido y posteriormente caracterizar el tono. El estudiante es activo durante todo el experimento (proyecto de acción práctica). Los estudiantes conducen el experimento en cada subgrupo, y responden un cuestionario que los guía paso a paso a construir el concepto de frecuencia y período asociado con el tono de un sonido. El objetivo del cuestionario fue introducir el concepto del tono usando representaciones gráficas visualizadas en el osciloscopio para que pudieran ser confrontadas con las ideas previas del estudiante.

La secuencia didáctica se diseñó en hojas de trabajo y se dividió en tres partes que siguen el modelo CUVIMA. Se inicia con la experimentación, donde el estudiante emite las notas musicales do y re en una flauta. Dichos sonidos son capturados en el dispositivo móvil, el cual los modeliza gráficamente (marco de modelización del dispositivo). Las gráficas son interpretadas en el marco de análisis conceptual de la física mediante una discusión grupal. Por ejemplo, la forma sinusoidal de la gráfica se debe a la rarefacción y compresión de las moléculas del aire y además a que la nota musical sea armónica. Posteriormente se promueve un proceso de interpretación inductiva en el marco de un análisis conceptual matemático. Por ejemplo, se analizan las gráficas sinusoidales identificando en cada una el número de ciclos repetitivos en determinado tiempo.

En una segunda parte de la guía de trabajo se realiza un proceso de conversión del registro gráfico a uno aritmético, y luego se realiza un tratamiento dentro del mismo registro para construir los conceptos de frecuencia y período, interpretados como una nueva magnitud física a partir del uso de razones externas.

En la tercera parte de la guía de trabajo se pretende promover una interpretación deductiva del tono, es decir, que el estudiante explicita el tono, usando los conceptos de frecuencia y período construidos en el marco del análisis conceptual en la matemática. Para promover esta interpretación deductiva se propusieron ejercicios de *operación inversa* (Cuevas y Pluinage, 2003). Es decir, a partir de un valor numérico de la frecuencia o período, el estudiante debe caracterizar el tipo de sonido (grave o agudo) y su representación gráfica.

En la idea de promover un aprendizaje colaborativo, socializar el conocimiento y fortalecer aquellos puntos de la secuencia didáctica (que se les dificultó a algunos subgrupos), se realizó una proyección de un dispositivo móvil, para visualizar las señales en la pizarra, lo que permitió la participación de un representante por subgrupo, señalando claramente el conteo de los ciclos o patrones de una gráfica sinusoidal.

## ANÁLISIS DE RESULTADOS

### Resultados de la primera experiencia.

De los 120 estudiantes mexicanos que asistieron, se seleccionaron 50 que participaron activamente y cuyos resultados se sintetizan en la figura 4, con la siguiente convención: E<sub>i,j</sub> significa Experiencia *i*, pregunta *j*:

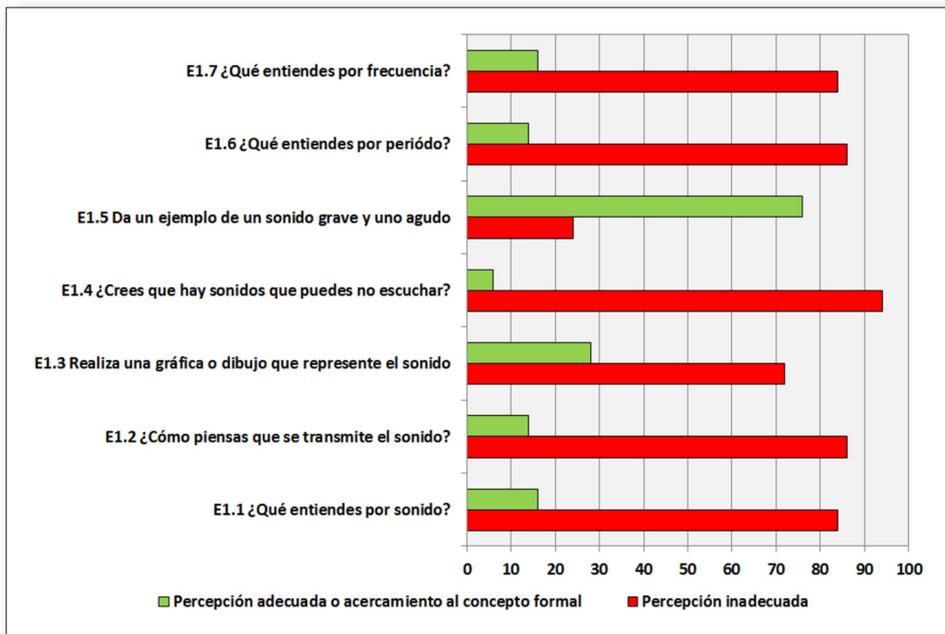


Fig. 4. Porcentajes de respuestas adecuadas e inadecuadas en ideas previas del sonido y el tono. Primera experiencia (E1).

E1.1: el 16 % tuvieron una percepción adecuada como la *perturbación de un medio material*, y un 84 %, una percepción inadecuada.

E1.2: el 14 % identifican de manera adecuada la transmisión del sonido, que puede ser a través de cualquier medio material como un sólido o un fluido, y un 86 % tienen una idea inadecuada o piensan que se transmite exclusivamente por un solo medio.

E1.3: el 28 % tuvieron un acercamiento a la representación senoidal asociada al sonido, mientras que el 72 % usan representaciones inadecuadas que asocian el sonido a algo exclusivamente audible.

E1.4: el 6 % asocian adecuadamente la percepción psicofisiológica del sonido al tono y frecuencia. El 94 % de los estudiantes mostraron ideas inadecuadas.

E1.5: el 76 % de los estudiantes dan ejemplos correctos sobre el tono. El 24 % lo asocian incorrectamente con la intensidad o no responden.

E1.6: el 14 % dan la definición de período como un lapso de tiempo determinado para realizar una acción que se repite. El 86 % restante dan una respuesta inadecuada.

E1.7: el 16 % interpretan la frecuencia como algo que se repite en un lapso de tiempo. El 84 % dan interpretaciones inadecuadas, como algo constante, o la asocian a magnitudes físicas como el tiempo, la fuerza, alcance, entre otras.

Con respecto a los resultados de las actividades que dan cuenta de una promoción en el dominio del concepto de tono en el marco matemático, se muestra en la figura 5 el razonamiento del grupo A.

Los estudiantes calculan la frecuencia y período de las notas si y mi, a partir de las señales respectivas de sonido captadas en el osciloscopio portable. Para la nota si, los estudiantes contaron 20 ciclos o patrones en 20 milisegundos. En una entrevista posterior se comprobó que implícitamente usan una razón interna al decir que, de 20 milisegundos a 100 milisegundos hay 5 veces más, y de 100 a 1000 milisegundos hay 10 veces más. Una vez determinada esta razón interna interpretada como un número o constante de proporcionalidad, siguieron el mismo razonamiento matemático para los ciclos o patrones de la onda capturada.

En la parte inferior de la figura 5 se observa el uso de las razones externas por parte de los estudiantes para interpretar el período como magnitud.

4.2 ¿Cuántos patrones se observarían en 1000ms (1s), para cada nota musical?  
 Multiplicamos "x" (el número de patrones) por 50

Número de patrones de la nota 1:	1000	Número de patrones de la nota 2:	650
----------------------------------	------	----------------------------------	-----

Al número de veces que se repiten estos patrones por cada segundo (1000 ms) se le denomina **frecuencia**. La unidad de medida de la frecuencia es el Hertz (Hz), que se interpreta como repeticiones de algún suceso por segundo, ciclos/s, etc.

4.3 ¿Cuánto tiempo dura un patrón en cada nota musical?

Tiempo de un patrón de la nota 1:	1 ms	Tiempo de un patrón de la nota 2:	.65 ms
-----------------------------------	------	-----------------------------------	--------

20ms → 20 patrones ✓  
 1ms → 1 patrón  
 20ms → 73 patrones  
 .65ms → 1 patrón

Fig. 5. Razonamiento del grupo A para hallar la frecuencia y período de la nota si y mi a partir de una representación gráfica. Actividad de la primera experiencia.

En la figura 6 se observa que en el grupo relacionaron el valor de la frecuencia y la representación gráfica del sonido con el tono, lo cual evidencia un proceso de interpretación deductiva, en el cual los estudiantes calculan una magnitud y la interpretan como característica del fenómeno físico, sin usar ecuaciones.

4.6 Emite nuevamente ambas notas con tu flauta. ¿Cuál nota se escucha más aguda y cuál más grave? La nota aguda es la que tiene mayor frecuencia (Si)

4.7 Relaciona cada nota con su respectiva imagen y dibújalas a continuación. Indica con una palomita que nota es más aguda y cuál más grave

Nota Musical	Gráfica	Más aguda	Más grave
Nota 1 Nota musical: <u>Si</u> Frecuencia: _____ Período: _____		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Nota 2 Nota musical: <u>Mi</u> Frecuencia: _____ Período: _____		<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

Fig. 6. Interpretación inductiva del grupo A sobre la relación de la frecuencia y la representación geométrica con el tono del sonido. Actividad de la primera experiencia.

En la figura 7 se observa el razonamiento común del grupo B, quienes hacen uso de las razones externas para formar las magnitudes de frecuencia y período para dos notas musicales, a partir de la representación gráfica obtenida en el osciloscopio.

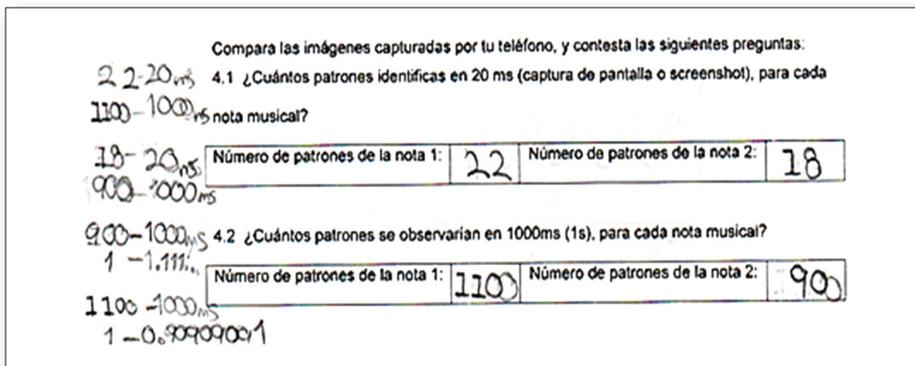


Fig. 7. Razonamiento del grupo B para hallar la frecuencia y el período de la nota si y mi a partir de una representación gráfica. Actividad de la primera experiencia.

La guía de trabajo finaliza con algunos ejercicios que dan cuenta de la operación inversa, propuesta en el marco didáctico. Se propone que, dada la magnitud de la frecuencia, se calcule el período y se realice una descripción gráfica temporal de la respectiva señal de sonido.

La figura 8 muestra el razonamiento del grupo B, donde los estudiantes evocan los conceptos de frecuencia y período para el desarrollo de los ejercicios (a) y (b). Se observa que, para determinar el período, usan la razón externa  $714:1000 = 1:1.4$  y luego mediante un tratamiento lo interpretan como el cociente  $1000 \div 714 = 1.4005$ .

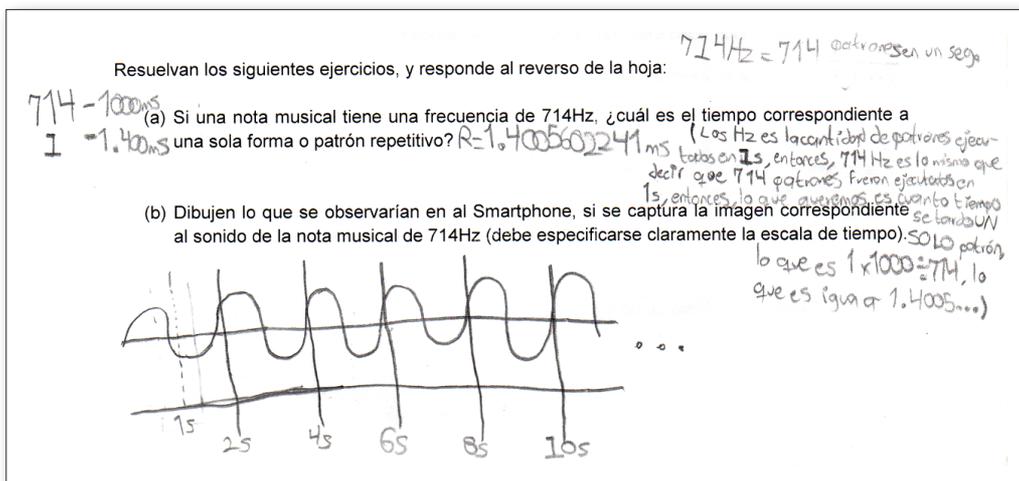


Fig. 8. Razonamiento del grupo B del primer estudio en ejercicios de operación inversa. Actividad de la primera experiencia.

Para hallar la representación gráfica de la nota musical, realizan la operación inversa. No especifican el procedimiento y no dibujan exactamente el número de patrones correspondientes; sin embargo, en la representación gráfica se identifican elementos como el tiempo, separación de cada ciclo repetitivo o patrón y la línea de equilibrio entre un punto máximo y mínimo, lo cual muestra una interpretación

gráfica del sonido, considerada como una evidencia de un acercamiento del CC respecto a las ideas previas sobre las representaciones del sonido, las cuales eran alusivas al ruido, instrumentos musicales, entre otras.

## Resultados de la segunda experiencia

### Resultados del pretest. Segunda experiencia

De los 60 estudiantes que asistieron, se seleccionó a 38 que participaron activamente. Los resultados de la figura 9 se describen a continuación:

- E2.1: el 16 % tienen una percepción más adecuada el concepto de sonido y el 84 % tienen una idea inadecuada, como algún tipo de frecuencia o algo estrictamente audible.
- E2.2: el 13 % tienen una idea adecuada de cómo se trasmite el sonido, mientras que el 87 % no la tienen, por ejemplo, piensan que necesariamente debe haber un receptor.
- E2.3: el 21 % representan el sonido mediante gráficas semejantes a las que muestra un osciloscopio; sin embargo, no especifican el sistema de magnitudes como la energía y el tiempo. El 79 % restante realiza representaciones inadecuadas, como algo que genera ruido.
- E2.4: el 30 % relacionan la percepción del sonido con los tonos graves y agudos. El 70 % restante no da una idea adecuada, y de aquí surge una nueva categoría que son las creencias basadas en supersticiones.
- E2.5: el 69 % dan ejemplos válidos sobre los tipos de tono y lo asocian comúnmente con los instrumentos musicales; sin embargo, no intuyen que existen sonidos graves o agudos en un rango no audible. El 31 % no distinguen los dos tipos de tonos, confundiéndolos con la intensidad de sonido, o no responden.

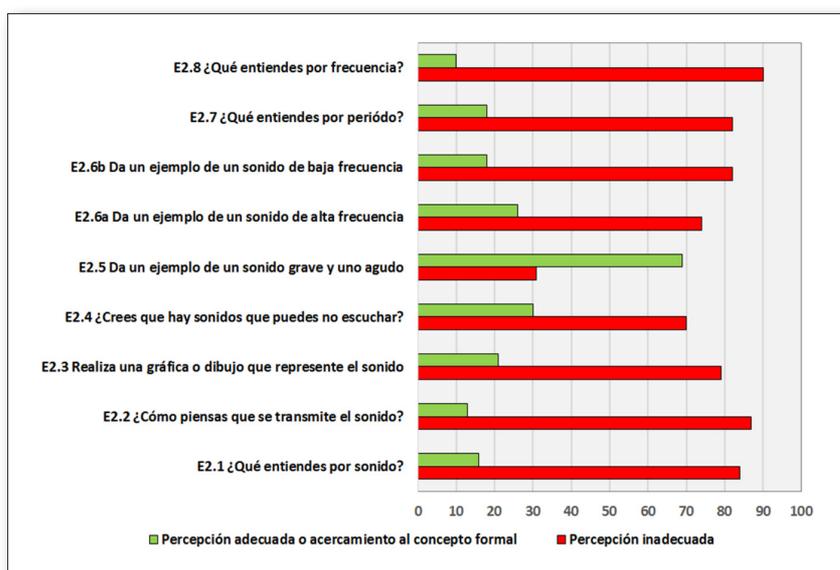


Fig. 9. Porcentajes de respuestas adecuadas e inadecuadas en el pretest del sonido y el tono. Segunda experiencia (E2).

- E2. 6a: un 26 % asocian correctamente la frecuencia con el tono, mientras que un 74 % no lo hacen.

- E2.6b: respecto a los ejemplos de sonidos de alta y baja frecuencia, el 18 % se aproximan a la idea correcta y un 82 % tienen una idea inadecuada, confundiéndolos con un sonido de alta o baja intensidad.
- E2.7: el 18 % se acercan a una definición adecuada del concepto de período, por ejemplo: «cuando una onda completa un recorrido completo en un tiempo». El 82 % no dan una idea adecuada.
- E2.8: el 10 % interpretan la frecuencia de manera adecuada. El 90 % presentan ideas inadecuadas, como «aquello que tiene la radio».

### Resultados en las actividades de la segunda experiencia

En la figura 10 se puede observar una imagen obtenida de una videograbación donde se plasma la interpretación inductiva o el tratamiento matemático que usaron los estudiantes en una sesión plenaria, que consistió en el uso de razones externas para hallar la frecuencia de una nota musical. Se puede observar en la parte inferior derecha la interpretación deductiva de un estudiante, la cual es una muestra de lo realizado por el grupo en general.

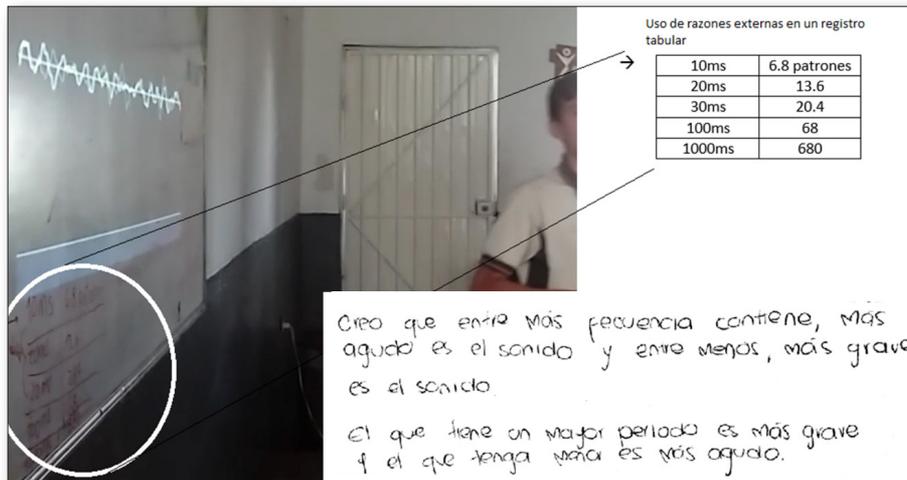


Fig. 10. Interpretación inductivo-deductiva de la gráfica de sonido. Actividad de la segunda experiencia.

### Resultados del postest. Segunda experiencia

La figura 11 sintetiza los resultados que evidencian un CC en los estudiantes que consiste en hacer interpretaciones inductivas o deductivas para el concepto del tono, usando los RRS. El postest se dividió en secciones de P1 a P7.

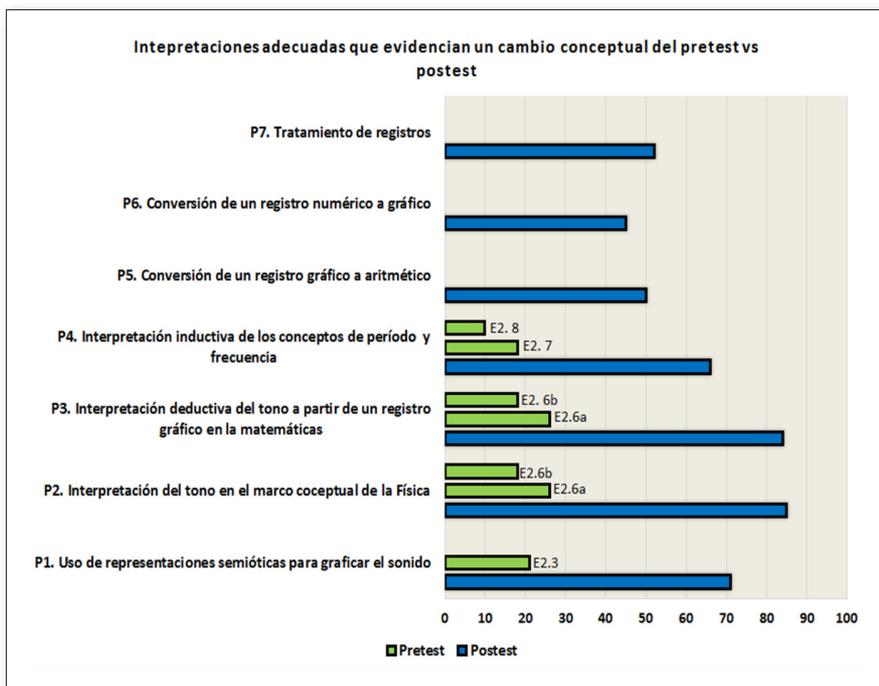


Fig. 11. Porcentajes de interpretaciones adecuadas que evidencian un CC del pretest vs. postest. Segunda experiencia.

### P1. Representaciones dadas acerca del sonido

En la figura 11 se muestra cómo, previo al desarrollo de las AD, solo el 21 % de los estudiantes presentaron ideas adecuadas para representar el sonido (E2.3) y cómo después de las actividades este porcentaje aumentó al 71 %. Consideramos que este resultado es una evidencia de un CC de quienes inicialmente presentaban una idea inadecuada sobre la representación del sonido (figura 12a), haciéndolo finalmente como una gráfica sinusoidal, donde identifican el tiempo y número de ciclos (figura 12b).

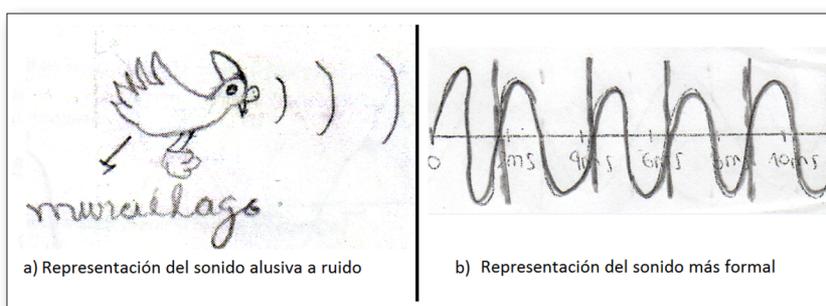


Fig. 12. Representaciones del sonido en el pretest y postest. Segundo estudio.

### P2 y P3. Interpretación del significado del tono

En los resultados de la figura 11 (E2.6 a y b) se observa en P2 otra evidencia de un CC, dado que alrededor un 26 y 18 % tenían una idea aproximada del significado del tono al dar ejemplos de sonidos de alta y baja frecuencia respectivamente, en cambio al final de la experiencia el 85 % de los estudiantes interpretan el tono como una cualidad del sonido de acuerdo con su significado psicofisiológico.

A una pregunta expresa de cómo distinguir el tono a partir de dos gráficas sinusoidales que representan respectivamente el sonido del aleteo de dos insectos, se pidió a los estudiantes responder ¿qué insecto emite un sonido más agudo y cuál más grave? En P3 (figura 11), el 84 % de los estudiantes interpretaron deductivamente el tono a partir de la gráfica. De dicho porcentaje, el 50 % hacen su interpretación a partir del cálculo del valor de la frecuencia, como muestra la figura 14, argumentando que la representación del sonido del aleteo de una mosca «tiene más ondas y se propaga con mayor frecuencia». El 34 % utilizan la gráfica del sonido argumentando que la figura sinusoidal más estrecha representa el sonido de aleteo de un insecto más agudo ya que tiene más ondas, refiriéndose a ondas como el número de ciclos.

Lo anterior evidencia un CC producto de una interpretación deductiva, comparado con el pretest, en el cual para la pregunta E2.6a y E2.6b, solo el 26 y 18 % distinguen respectivamente el tono de un sonido de alta o baja frecuencia. En el postest solo un 16 % aún confunden la frecuencia con la intensidad, argumentando que «el sonido de la mosca es más suave y el del abejorro más fuerte».

#### P4. Interpretación inductiva del período y la frecuencia en un problema en contexto

En la figura 13 se observan dos problemas que exigen al estudiante aplicar los conceptos de período y frecuencia en un contexto ajeno del que se enseñó, lo cual es sugerencia de la didáctica (Cuevas y Pluvinaige, 2003).

3. Una cámara de celular fue configurada en modo ráfaga, de modo que, al ser oprimido el botón de disparo, este permite tomar 8 fotografías en un segundo. ¿Cuál es la frecuencia y el período del disparo?
4. Una cámara de celular fue configurada en modo ráfaga, de modo que, al ser oprimido el botón de disparo, este permite tomar 7 fotografías en medio segundo. ¿Cuál es la frecuencia y el período del disparo?

Fig. 13. Interpretación de la frecuencia y período en un problema en contexto. Postest, segundo estudio.

De nuevo en P4 de la figura 11 se observan cambios con respecto al significado del período y la frecuencia, en el cual un 66 % aplican dichos conceptos usando razones externas para resolver un problema en un contexto diferente de aquel en el que se enseñó, lo cual es alusivo a un aprendizaje significativo en el sentido de Ausubel *et al.* (2012). En las ideas previas solo un 18 y 10 % de los estudiantes interpretan adecuadamente el período (E2.7) y la frecuencia (E2.8), respectivamente.

#### P5, P6 y P7. Procesos de conversión y tratamiento de registros

En P5 de la figura 11, se muestra que el 50 % de los estudiantes realizan procesos de *conversión* al pasar de una gráfica sinusoidal que representa el sonido de aleteo de un insecto, a un valor numérico o registro aritmético. De dicho porcentaje el 34 % lo hacen usando razones externas, por ejemplo  $4.5:20 = x:1000$ , donde  $x$  es la frecuencia (figura 14), y el 16 % usando razones internas, donde determinan una constante de proporcionalidad (figura 15).

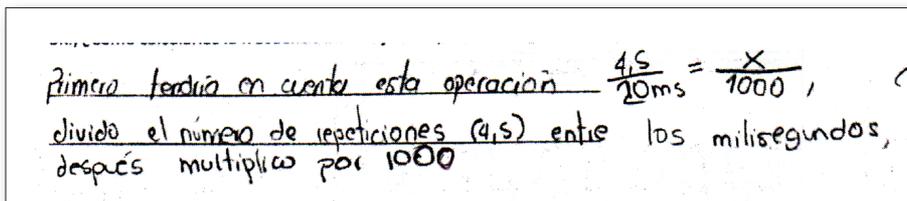


Fig. 14. Frecuencia hallada mediante el uso de razones externas, a partir de una representación gráfica de un sonido.

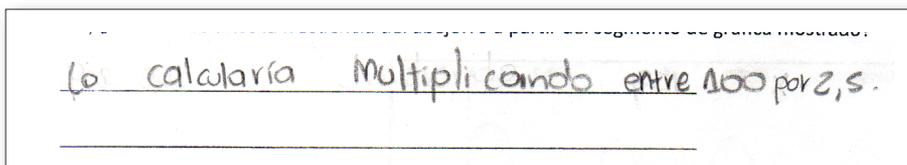


Fig. 15. Frecuencia hallada mediante el uso de razones internas, a partir de una representación gráfica de un sonido.

En la misma medida, los estudiantes interpretan la gráfica del sonido para hallar el período a partir de razones externas o cociente de dos magnitudes de diferente sistema (tiempo y ciclos de onda), como muestra la figura 16, en la que se observa que el estudiante, teniendo el valor de la frecuencia de 325 Hz, establece que la proporción del tiempo es a 1 ciclo como mil milisegundos es a 325 ciclos.

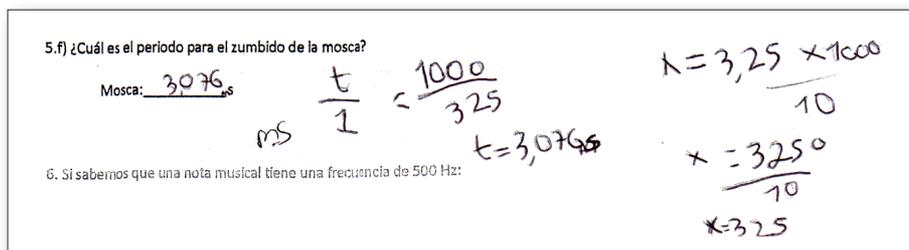


Fig. 16. Período hallado mediante el uso de razones externas, a partir de una representación gráfica de un sonido.

Parte de la didáctica, propone la operación inversa, es por ello que contrario al problema de los insectos, ahora se pide al estudiante el trazo de la gráfica de un sonido a partir del valor de su frecuencia.

El 45 % (P6) determinan el período a partir de la magnitud de la frecuencia y luego realizan una representación gráfica de un sonido con el valor de la frecuencia. En la figura 17 se observa que el estudiante hace uso de razones externas como proceso de conversión para realizar el trazo de una gráfica sinusoidal, particularmente identifica que 500 ciclos son a 1000 milisegundos como «x» ciclos son a 10 milisegundos, de modo que al final del despeje obtiene la cantidad de ciclos de la sinusoidal para trazar en la gráfica (de manera no uniforme).

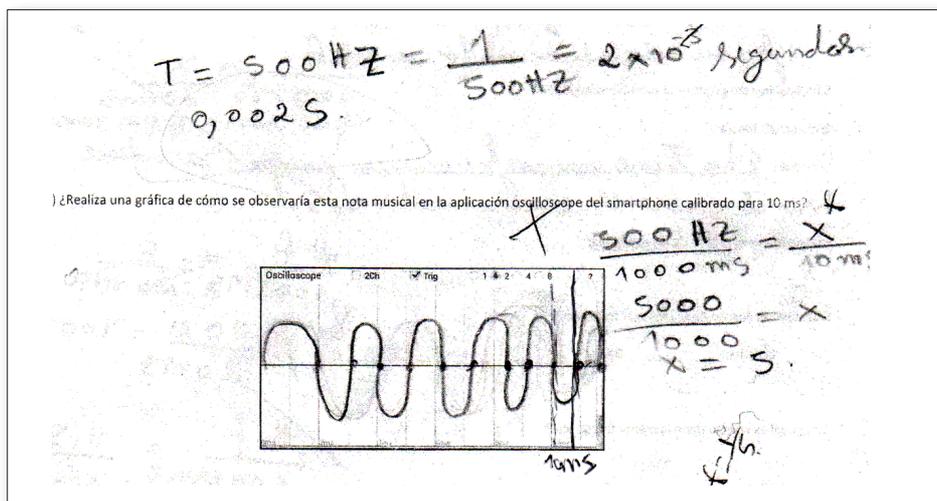


Fig. 17. Interpretación de la magnitud de la frecuencia convertida en una representación gráfica.

Finalmente, un 52 % (P7) de los estudiantes realizaron un proceso de tratamiento que consistió en trazar gráficas sinusoidales de un sonido, a partir de otra gráfica de la misma naturaleza como la obtenida en la figura 17, interpretando deductivamente cuál de ellas puede representar un sonido más agudo o más grave.

## CONCLUSIONES

El empleo de dispositivos móviles como laboratorio portable jugó un rol fundamental para obviar situaciones matemáticas relativas a la modelización y visualizar los RRS que representan el fenómeno físico. La visualización de un registro gráfico acompañado de un planteamiento didáctico contribuyó al CC de los estudiantes en dos contextos socio-geográficos diferentes, y a la comprensión del tono, debido a los siguientes aspectos:

- Las ideas previas sobre la representación del sonido en ambos contextos fueron muy semejantes. De manera general, como se evidencia en los resultados discutidos de las figuras 4 y 9, se observó que los estudiantes asociaban el sonido a dibujos como ruido o comunicación, confundiendo el tono con la intensidad. En la muestra colombiana, se evidenció que después de las actividades, el 71 % de los estudiantes modificaron sus representaciones sobre la propagación del sonido (figura 12), donde la señal sinusoidal toma un significado dentro de la física al asignarle elementos de significado como el tiempo y el número de ciclos de una onda.
- La secuencia basada en la didáctica Cuevas y Pluvinage (2003) y el acompañamiento de la tecnología permitió a los estudiantes realizar procesos de conversión y tratamiento, en el sentido de Duval (1998), así como las interpretaciones inductivas-deductivas, necesarias para la comprensión del tono como cualidad del sonido a través de los RRS.
- En las figuras 5 y 7 se observa el uso de las razones internas y externas de la muestra mexicana para interpretar deductivamente el sonido, asociando finalmente el tono con la frecuencia o período, como se muestra en la figura 6. De manera similar el 84 % de la muestra colombiana utiliza las razones para interpretar deductivamente el tono, calculando la frecuencia y el período a partir de la representación sinusoidal del sonido (figura 10).

- El planteamiento didáctico basado en una enseñanza activa (Cuevas y Pluinage, 2003), acompañado del uso de la tecnología, permitió a los estudiantes ser más partícipes de la construcción de su conocimiento y promovió un aprendizaje significativo integrando a la matemática en el contexto de la física, de modo que los conceptos adquieren sentido dentro de una situación real al ser aplicados a diversos contextos (significado de frecuencia y período aplicado en el sonido y en un contexto distinto como el de la figura 13). Los razonamientos matemáticos de los estudiantes muestran que se evitó aplicar ecuaciones de manera memorística.

El modelo CUVIMA propuesto para el diseño didáctico fue útil para analizar el proceso de CC al incluir la situación experimental y los diferentes marcos. Este modelo se puede aplicar a distintos niveles educativos y para diferentes conceptos de la física.

## AGRADECIMIENTOS

Al ingeniero Fabián Ricardo Reyes, estudiantes y coordinadora Maria Elena Silva del colegio Salesiano San Juan Bosco-Cúcuta por su participación activa en la experimentación. A la Dra. Olimpia Figueras por sus valiosos aportes.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AAAS (1990). Hábitos de la mente. Capítulo XII. *Ciencia: Conocimiento para todos*. Disponible en línea: <<http://www.project2061.org/esp/publications/sfaa/online/chap12.htm>> [consulta: 28/12/2016].
- AIZICSON, B. y CUDMANI L. (2007). Sonido, ondas y audición: ideas previas de los estudiantes en ciencias médicas. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 24(3), 360-399.
- ARTIGUE, M. (1990). Epistémologie et didactique. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, 10(23), 241-286.
- AUSUBEL, D., NOVAK J. y HANESIAN, H. (2012). *Psicología educativa: un punto de vista cognoscitivo*. México: Trillas
- CAMPANARIO, J.M. y MOYA, A. (1999). ¿Cómo enseñar ciencias? *Enseñanza de las Ciencias*, 17(2), 179-192.
- CARRASCOSA, J. (1983). Errores conceptuales en la enseñanza de las ciencias: selección bibliográfica. *Enseñanza de las Ciencias*, 1(1), 63-65.
- (2005). El problema de las concepciones alternativas en la actualidad (parte I). Análisis sobre las causas que la originan y/o mantienen. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 2(2), 183-208.
- CONFREY, J. y MALONEY, A. (2007). A Theory of Mathematical Modelling in Technological Settings. *In Modelling and Applications in Mathematics Education* (pp. 57-68). US: Springer. [https://doi.org/10.1007/978-0-387-29822-1\\_4](https://doi.org/10.1007/978-0-387-29822-1_4)
- CROMER, A. (1978). *Física para las ciencias de la vida*. Barcelona: Reverté.
- CUEVAS, C.A. y PLUINAGE, F. (2003). Les projets d'action pratique, elements d'une ingeniere d'ensigment des mathematiques. *Annales de didactique et de sciences cognitives*, 8, 273-292.
- DRIVER, R. (1988). Un enfoque constructivista para el desarrollo del currículo de ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 6, pp. 109-120.
- DRIVER, R., SQUIRES, A., RUSHWORTH, P. y WOOD, R. V. (1994). *Making sense of secondary science: research into children's ideas*. Routledge, London.

- DUVAL, R. (1998). Registros de representación semiótica y funcionamiento cognitivo del pensamiento. En F. Hitt (trad.), *Investigaciones en matemática educativa II* (173-201). México: Iberoamérica.
- ESHACH, H. y SCHWARTZ, J. (2006). Sound stuff? Naïve materialism in middle-school students' conceptions of sound. *International Journal of Science Education*, 28(7): 733-764.  
<https://doi.org/10.1080/09500690500277938>
- FORINASH, K. y WISHMAN R. (2012). Smartphones as portable oscilloscopes for physics labs. *The Physics Teacher*, 50, 242-243.  
<https://doi.org/10.1119/1.3694081>
- FREUDENTHAL, H. (2001). Razón y proporcionalidad. En L. Puig (traductor), *Fenomenología didáctica de las estructuras matemáticas. Textos seleccionados* (pp. 1-40). México: Departamento de Matemática Educativa del CINVESTAV. Disponible en línea: <<http://www.uv.es/puigl/cap6razon.pdf>>.
- HAWKING, S.W. (2001). *El universo en una cáscara de nuez*. México DF: Crítica.
- HERNÁNDEZ, M.I., COUSO, D. y PINTÓ, R. (2012). The analysis of students' conceptions as a support for the design of a teaching/learning sequence on acoustic properties of materials. *Journal Science Education Technology*, 21(6), 702-712.  
<https://doi.org/10.1007/s10956-011-9358-4>
- HEWSON, P.W. (1992). El cambio conceptual en la enseñanza de las ciencias y la formación de los profesores. *Ponencia presentada en el encuentro sobre Investigación y desarrollo del currículo en la enseñanza de las ciencias*. Madrid: CIDE.
- HIERREZUELO, J. y MONTERO, A. (2006). *La ciencia de los alumnos. Su utilización en la didáctica de la física y la química*. México: Fontamara.
- HREPIC, Z., ZOLLMAN, D. y REBELLO, N. (2010). Identifying students' mental models of sound propagation: the role of conceptual blending in understanding conceptual change. *Physical Review Special Topics-Physics Education Research*, 6, 1-18.  
<https://doi.org/10.1103/PhysRevSTPER.6.020114>
- JAIME, A. y GUTIÉRREZ, A. (1990). Una propuesta de fundamentación para la enseñanza de la geometría: el modelo de Van Hiele. En S. Llinares y M. V. Sánchez (Eds.), *Teoría y práctica en educación matemática*, 295-384. Sevilla: Alfar. Disponible en línea <[www.uv.es/angel.gutierrez/archivos1/textospdf/JaiGut90.pdf](http://www.uv.es/angel.gutierrez/archivos1/textospdf/JaiGut90.pdf)>.
- KLEIN, P., HIRTH, M., GRÖBER, S., KUHN, J., y MÜLLER, A. (2014). Classical experiments revisited: smartphones and tablet PCs as experimental tools in acoustics and optics. *Physics Education*, 49, 412-418.  
<https://doi.org/10.1088/0031-9120/49/4/412>
- LANZ, C. (2014). Familiarizing students with the basics of a smartphone's internal sensors. *The Physics Teacher*, 52, 557-559.  
<https://doi.org/10.1119/1.4902204>
- LAWRENCE, I. (2008). Sounding off and lighting up. *Physics Education*, 43(1), 62-67.  
<https://doi.org/10.1088/0031-9120/43/01/006>
- LINDER, C.J. (1992). Understanding sound: so what is the problem? *Physics Education*, 27, 258-264.  
<https://doi.org/10.1088/0031-9120/27/5/004>
- (1993). University physics students' conceptualizations of factors affecting the speed of sound propagation. *International Journal of Science Education*, 15(6), 655-662.  
<https://doi.org/10.1080/0950069930150603>
- MANRIQUE, M., VARELA, P. y FAVIERES, A. (1989). Selección bibliográfica sobre esquemas alternativos de los estudiantes en electricidad. *Enseñanza de las Ciencias*, 7(3), 292-295.
- MARÍN, N. y CÁRDENAS, F. (2011). Valoración de los modelos más usados en la enseñanza de las ciencias basados en la analogía el alumno como científico. *Enseñanza de las Ciencias*, 29(1), 35-46.

- MAURINES, L. (1993). Spontaneous reasoning on the propagation of sound. In *Proceedings of the third international seminar on misconceptions and educational strategies in science and mathematics*. Ithaca, NY: Cornell University.
- MAZENS, K. y LAUTREY J. (2003). Conceptual change in physics: children's naïve representations of sound. *Cognitive Development*, 18, 159-176.  
[https://doi.org/10.1016/S0885-2014\(03\)00018-2](https://doi.org/10.1016/S0885-2014(03)00018-2)
- MCDERMOTT, L.C. (1984). Research on conceptual understanding in mechanics. *Physics Today*, Julio, 24-34.  
<https://doi.org/10.1063/1.2916318>
- MONTEIRO, M., CABEZA, C. y MARTÍ, A. (2014). Exploring phase space using smartphone acceleration and rotation sensors simultaneously. *European Journal of Physics*, 35, 1-9.  
<https://doi.org/10.1088/0143-0807/35/4/045013>
- NIEDA, J. y MACEDO, B. (1997). Qué enseñar: los objetivos. En: *un currículo científico para estudiantes de 11 a 14 años* (pp. 77-84). México: SEP.
- OH, P.S. y OH, S.J. (2011). What teachers of science need to know about models: an overview. *International Journal of Science Education*, 33(8), 1109-1130.  
<https://doi.org/10.1080/09500693.2010.502191>
- PERALES, F. (1997). Escuchando el sonido: concepciones sobre acústica en alumnos de distintos niveles educativos. *Enseñanza de las Ciencias*, 15(2), 233-247.
- POSNER, G.J., STRIKE, K.A., HEWSON, P.W. y GERTZOG, W.A. (1982). Accommodation of a scientific conception: toward a theory of conceptual change. *Science Education*, 66(2), 211-227.  
<https://doi.org/10.1002/sce.3730660207>
- POZO, J. (2007). Ni cambio ni conceptual: la reconstrucción del conocimiento científico como un cambio representacional. En Pozo, J. y F. Flores (eds.). *Cambio conceptual y representacional en la enseñanza de la ciencia* (pp. 73-89). Madrid: A. Machado libros.
- SALTIEL, E. y VIENNOT, L. (1985). ¿Qué aprendemos de las semejanzas entre las ideas históricas y el razonamiento espontáneo de los estudiantes? (J. Carrascosa, traductor). *Enseñanza de las Ciencias*, 137-144.
- TOUMA, G. (2009). Une étude sémiotique sur l'activité cognitive. *Annales de Didactique et de Sciences Cognitives*, 14, 79-101.
- VÁZQUEZ, E. (2014). Mobile distance learning with smartphones and apps in higher education. *Educational Sciences: Theory and Practice*, 14(4), 1505-1520.  
<https://doi.org/10.12738/estp.2014.4.2012>
- VIENNOT, L. (1979). *Le Raisonnement Spontané en Dynamique Élémentaire*. París: Hermann.
- (2002). *Razonar en Física*. Madrid: A. Machado libros.
- VOSNIADOU, E. (2014). Reframing the Classical Approach to Conceptual Change: Preconceptions, Misconceptions and Synthetic Models. En J. Barry, G. Kenneth y J. Campbell (Eds.), *Second International Handbook of Science Education* (vol. 2, pp. 119-130). Netherlands: Springer.  
<https://doi.org/10.1007/978-1-4020-9041-7>
- WINDSCHITL, M., THOMPSON, J. y BRAATEN, M. (2008). Beyond the scientific method: model-based inquiry as a new paradigm of preference for school science investigations. *Science Education*, 92(5), 941-967.  
<https://doi.org/10.1002/sce.20259>
- 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.

---

# Educational activities for the pitch, as a quality of sound, in basic level physics courses, mediated by digital technology

Carlos Armando Cuevas Vallejo, Freddy Yesid Villamizar Araque, Alfredo Martínez Uribe  
Departamento de Matemática Educativa. Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN  
ccuevas@cinvestav.mx • freddymatedu@gmail.com, fvillamizar@cinvestav.mx  
• alfymago@hotmail.com, amartinezu@cinvestav.mx

The purpose of this paper is to encourage pitch understanding as a quality of sound and its modelling, associated with their mathematical concepts through the design and application of didactic activities. Sound as a concept and its basic qualities are part of the studies of second -degree physics basic education program in Mexico, and of the fourth degree of secondary in Colombia (ages between 13 and 15 years). The experience to be described was implemented with students from Mexico and Colombia.

As theoretical framework, students' previous ideas have been considered, as well as conceptual change theory, didactics of mathematics and modelling elements involved in the learning science process.

The need to promote the acquisition of scientific concepts over laboratory experiments and problem solving has been recognized.

Also, the need to promote the acquisition of scientific concepts with greater emphasis beyond experimentation and problem-solving has been identified. To do so, we must challenge those ideas that are often incorrect to explain some phenomenon. They have been called prior ideas, alternative conceptions or common reasoning, among others, depending on their epistemological origin. Our intention is to achieve a conceptual change through didactic activities where the concept acquires a sense for the student while at the same time providing an institutionalized knowledge. This process is considered useful in helping to restructure and reconstruct those inadequate interpretations of nature.

This paper shows a proposal to use the previous ideas of the students as representations and pieces of knowledge that will turn out into a cognition refinement processes. We are interested in promoting the understanding of a physical concept and its relation with the mathematical concepts associated.

All of this is included in a methodological model called CUVIMA, which integrates the use of mobile devices as a portable laboratory and a didactic proposal. It starts from a phenomenon in a physics context, in this case, the pitch, as sound quality for its modelling, in which the educational model that includes semiotic representation, registers and processes of inductive and deductive interpretation, must be regarded.

The CUVIMA model is composed of four frames or modules: Firstly, the choice and presentation of the physical phenomenon which allows to make evident the previous ideas of the students to be identified, that in turn will be associated with a physics concept. Secondly, the mobile device modelling, which introduces the representations to be decoded by students. Thirdly, the conceptual analysis in physics with its correspondent analysis of mathematical concepts associated. Finally, the comparison of the concept acquired with previous ideas and the reinterpretation of the real phenomenon.

The study was implemented in several phases: the selection of the physical concept, the way to carry out the experiment, the selection of digital instruments to capture data, the reorganisation of the students to make the physical phenomenon experimentation, the design of educational activities, the application of the first didactic experience. Considering the results obtained, the didactic activities were redesigned to be applied in a second didactic experience.

The pre-test instrument was a questionnaire about sound and pitch. The second instrument of measurement or post-test consisted of a questionnaire divided into 7 sections with open questions like pre-test and didactic activities. The didactic activities were a manual of the usage of an oscilloscope app and a teaching sequence based on proposal didactics. Pieces of evidence of some conceptual changes achieved by students are to be shown.