

Trabajo Fin de Máster
TFM17-MPES-FQ-IRANETA-58247
Septiembre, 2017

Máster Universitario en Profesorado de Educación Secundaria

Diseño, implementación y evaluación
de un taller sobre sonido en un instituto
de educación secundaria en la semana
de la ciencia

Iker Irañeta Unzué



Departamento de Física
Facultad de Ciencias Humanas y Sociales
Universidad Pública de Navarra

Dirigido por:

Dr. Antonio Vela Pons

Información del autor:

Iker Irañeta Unzué

Facultad de Ciencias Humanas y Sociales

Universidad Pública de Navarra

iraneta.58247@e.unavarra.es

Este documento puede ser libremente distribuido.

©2017 Iker Irañeta Unzué

Resumen

Este texto describe el proceso por el cual se diseñó, implementó y evaluó un taller sobre el sonido para alumnos de 3º de ESO (14-15 años) durante una semana de la ciencia. Siendo una actividad de enseñanza no formal, se optó por realizar varias experiencias en las que la interacción con el alumno fuera una constante. El objetivo de todas las experiencias llevadas a cabo era despertar el interés del alumnado hacia la ciencia, a la vez que debía servir para que los alumnos aprendieran nuevos conceptos o reforzaran aquéllos vistos en las clases de enseñanza formal. En la última parte del trabajo se exponen los resultados y las conclusiones de la evaluación realizada a los alumnos para ver si se han conseguido estos objetivos.

Palabras clave

Enseñanza no formal, semana de la ciencia, ciencias, sonido.

Abstract

This text describes the process by which a workshop on sound was designed, implemented and evaluated for students of 3rd year of ESO (14-15 years) during a science week. Being non-formal teaching activity, it was decided to make several experiences in which the interaction with the student was a constant. The aim of all the experiments carried out was to arouse students' interest in science, at the time it was useful for students to learn new concepts or to reinforce those seen in formal teaching lessons. In the last part of the paper the results and conclusions of the evaluation made to the students are shown to see if these objectives have been achieved.

Key Words

Non-formal teaching, science week, science, sound.

Índice

Objetivo.....	7
Introducción teórica.....	8
Ley Foral en ESO y Bachillerato	8
Teoría del aprendizaje.....	13
Contexto no formal	14
Propuesta de intervención	15
Experiencia 1: Ondas con un muelle.....	16
Experiencia 2: Características de las ondas con Audacity.....	18
Experiencia 3: Propagación del sonido en medio sólido	22
Experiencia 4: Ver el sonido	24
Experiencia 5: Rango audible.....	27
Experiencia 6: Medida de la velocidad del sonido en aire.....	29
Experiencia 7: Resonancia	35
Implementación.....	38
Contexto	38
Evaluación.....	40
Conclusiones.....	47
Posibles mejoras	48
Bibliografía.....	50
Libros	50
Artículos y capítulos	50
Páginas web	50

Objetivo

Este trabajo presenta el diseño, la implementación, la evaluación y los resultados de un taller sobre el sonido llevado a cabo en el instituto Biurdana BHI durante la Semana de la Ciencia.¹

Durante la fase de diseño se consideraron múltiples experiencias, de las que se seleccionaron siete, que se llevarían a cabo con alumnos del centro. Los objetivos que se pretendían conseguir con el taller mediante estas experiencias son:

- Introducir al alumno en el mundo de las ondas y el sonido. Se pretende que aprendan conceptos relacionados con este tema.

- Motivar al alumno a aprender. Hoy en día hay mucha información disponible con la que se puede aprender sobre cualquier tema. Se pretende despertar el interés del alumno por aprender en general y por este tema en particular, animándolo a acceder a dicha información.

- Proporcionar independencia. La mayoría de las experiencias científicas planteadas se pueden realizar con materiales caseros y baratos. Unido a que son sencillas de poner en marcha, deben servir como acicate para que el alumno intente realizarlas en casa por su cuenta e intentar otras nuevas.

- Servir de apoyo para facilitar la comprensión de los temas asociados en el desarrollo del currículum en el aula.

En este texto se analizan una a una las experiencias llevadas a cabo en el taller de sonido: Materiales empleados, montaje, relación de la experiencia con la explicación teórica dificultades encontradas durante su desarrollo y algunas recomendaciones para futuras implementaciones.

Además, se evalúa hasta qué punto se han conseguido los objetivos propuestos (salvo el de proporcionar independencia, que debería analizarse a más largo plazo). Incluye también una valoración sobre el trabajo realizado en la que se proponen algunas mejoras posibles.

¹Nota: El taller de sonido formaba parte de las actividades organizadas con motivo de la Semana de la Cultura de Biurdana BHI. Sin embargo, en la elaboración de este texto se ha optado por denominarla Semana de la Ciencia, ya que las experiencias propuestas se pueden enmarcar más fácilmente en una semana de este tipo.

Introducción teórica

Ley Foral en ESO y Bachillerato

El taller de sonido se implementó durante el curso escolar 2016-2017. Se da la circunstancia de que ese mismo año se implantó una nueva ley de educación, la Ley Orgánica para la Mejora de la Calidad Educativa (LOMCE), en detrimento de la Ley Orgánica de Educación (LOE), que se había aplicado hasta ese momento.

Este cambio legislativo tiene un fuerte impacto en las asignaturas de ciencias. El cambio más significativo es que la asignatura de Ciencias de la Naturaleza desaparece, cursándose en su lugar las asignaturas de Física-Química y Biología-Geología.

El tema ondas y sonido tiene distinto tratamiento por parte de ambas leyes, como queda reflejado en la siguiente tabla.

Tabla 1

<i>Curso</i>	<i>LOE</i>	<i>LOMCE</i>
1º ESO		
2º ESO	<p>CIENCIAS DE LA NATURALEZA</p> <p>Bloque 3.-Transferencia de energía.</p> <p>-Calor y temperatura:</p> <p>El calor como agente productor de cambios. Distinción entre calor y temperatura.</p> <p>Reconocimiento de situaciones y realización de experiencias sencillas en las que se manifiesten los efectos del calor sobre los cuerpos.</p> <p>Interpretación del calor como forma de transferencia de energía.</p> <p>Valoración de las aplicaciones de la utilización práctica del calor.</p> <p>-Luz y sonido:</p> <p>Luz y visión: los objetos como fuentes secundarias de luz.</p> <p>Propagación rectilínea de la luz en todas direcciones. Reconocimiento de situaciones y realización de experiencias sencillas para ponerla de manifiesto. Sombras y eclipses.</p> <p>Estudio cualitativo de la reflexión y de la refracción. Utilización de</p>	

	<p>espejos y lentes. Descomposición de la luz: interpretación de los colores.</p> <p>Sonido y audición. Propagación y reflexión del sonido.</p> <p>Valoración del problema de la contaminación acústica y lumínica.</p>	
3º ESO	<p>CIENCIAS DE LA NATURALEZA</p> <p>Bloque 5.-Las personas y la salud:</p> <p>-Las funciones de relación: percepción, coordinación y movimiento:</p> <p>La percepción; los órganos de los sentidos; su cuidado e higiene.</p> <p>La coordinación y el sistema nervioso: organización y función.</p> <p>El sistema endocrino: las glándulas endocrinas y su funcionamiento. Sus principales alteraciones.</p> <p>El aparato locomotor. Análisis de las lesiones más frecuentes y su prevención.</p> <p>Salud mental. Las sustancias adictivas: el tabaco, el alcohol y otras drogas. Problemas asociados. Actitud responsable ante conductas de riesgo para la salud. Influencia del medio social en las conductas.</p>	<p>BIOLOGÍA-GEOLOGÍA</p> <p>Bloque 4.-Las personas y la salud. Promoción de la salud:</p> <p>Niveles de organización de la materia viva.</p> <p>Organización general del cuerpo humano: células, tejidos, órganos, aparatos y sistemas.</p> <p>La salud y la enfermedad. Enfermedades infecciosas y no infecciosas. Higiene y prevención.</p> <p>Sistema inmunitario. Vacunas. Los trasplantes y la donación de células, sangre y órganos.</p> <p>Las sustancias adictivas: el tabaco, el alcohol y otras drogas. Problemas asociados.</p> <p>La función de nutrición: nutrición, alimentación y salud.</p> <p>Los nutrientes, los alimentos y hábitos alimenticios saludables. Trastornos de la conducta alimentaria.</p> <p>Anatomía y fisiología de los aparatos digestivo, respiratorio, circulatorio y excretor. Alteraciones más frecuentes, enfermedades asociadas, prevención de las mismas y hábitos de vida saludables.</p> <p>La función de relación.</p> <p>Organización y funcionamiento del sistema nervioso.</p> <p>Enfermedades del sistema nervioso.</p>

		<p>Órganos de los sentidos: estructura y función, cuidado e higiene.</p> <p>El sistema endocrino: las glándulas endocrinas y su funcionamiento. Principales alteraciones.</p> <p>El aparato locomotor. Organización y relaciones funcionales entre huesos y músculos. Prevención de lesiones.</p> <p>La función de reproducción. La reproducción humana.</p> <p>Anatomía y fisiología del aparato reproductor.</p> <p>Cambios físicos y psíquicos en la adolescencia.</p> <p>El ciclo menstrual. Fecundación, embarazo y parto.</p> <p>Análisis de los diferentes métodos anticonceptivos.</p> <p>Técnicas de reproducción asistida Las enfermedades de transmisión sexual. Prevención.</p> <p>Sexo y sexualidad. Salud e higiene sexual.</p>
4º ESO	<p>FÍSICA-QUÍMICA</p> <p>Bloque 3.-Profundización en el estudio de los cambios.</p> <p>-Energía, trabajo y calor:</p> <p>Valoración del papel de la energía en nuestras vidas. Naturaleza, ventajas e inconvenientes de las diversas fuentes de energía.</p> <p>Conceptos de trabajo y energía. Estudio de las formas de energía: cinética y potencial gravitatoria. Potencia.</p> <p>Ley de conservación y transformación de la energía y sus implicaciones.</p> <p>Las ondas: otra forma de</p>	

	transferencia de energía.	
1º Bachillerato		<p>FÍSICA-QUÍMICA</p> <p>Bloque 6.-Cinemática</p> <p>Sistemas de referencia inerciales. Principio de relatividad de Galileo.</p> <p>Movimiento circular uniformemente acelerado.</p> <p>Composición de los movimientos rectilíneo uniforme y rectilíneo uniformemente acelerado.</p> <p>Descripción del movimiento armónico simple (MAS).</p>
2º Bachillerato	<p>FÍSICA</p> <p>Bloque 2.-Vibraciones y ondas</p> <p>Cinemática del movimiento vibratorio armónico simple. Dinámica del movimiento armónico simple: fuerza elástica, ley de Hooke.</p> <p>Energía en el movimiento armónico simple: energía potencial elástica, cinética y mecánica.</p> <p>Movimiento ondulatorio. Clasificación de las ondas. Magnitudes características de las ondas. Ecuación de las ondas armónicas planas. Aspectos energéticos.</p> <p>Principio de Huygens. Reflexión y refracción. Estudio cualitativo de difracción e interferencias. Ondas estacionarias. Ondas sonoras.</p> <p>Aplicaciones de las ondas al desarrollo tecnológico y a la mejora de las condiciones de vida. Impacto en el medio ambiente.</p> <p>Contaminación acústica, sus fuentes y efectos.</p>	<p>FÍSICA</p> <p>Bloque 4.-Ondas</p> <p>Clasificación y magnitudes que las caracterizan.</p> <p>Ecuación de las ondas armónicas.</p> <p>Energía e intensidad.</p> <p>Ondas transversales en una cuerda.</p> <p>Fenómenos ondulatorios: interferencia y difracción reflexión y refracción.</p> <p>Efecto Doppler.</p> <p>Ondas longitudinales. El sonido.</p> <p>Energía e intensidad de las ondas sonoras. Contaminación acústica.</p> <p>Aplicaciones tecnológicas del sonido.</p> <p>Ondas electromagnéticas.</p> <p>Naturaleza y propiedades de las ondas electromagnéticas.</p> <p>El espectro electromagnético.</p> <p>Dispersión. El color.</p> <p>Transmisión de la comunicación.</p>

Como puede observarse, las ondas y el sonido han perdido peso en el currículum de la ESO, pero los contenidos en Bachillerato, aunque repartidos entre los dos cursos de distinta manera, se mantienen sin grandes cambios.

Teoría del aprendizaje

Hay distintas maneras de llevar a cabo un proceso de enseñanza y aprendizaje. Históricamente, la clase magistral ha sido la más empleada por los centros educativos de secundaria, en la que el profesor explica un tema oralmente mientras escribe unas notas en pizarra para que los estudiantes tomen apuntes.

Sin embargo, en los últimos años, se vienen desarrollando otras metodologías que tratan de hacer más significativo el aprendizaje por parte de los alumnos. Muchas de estas metodologías están basadas en la teoría de Dale (1900-1985). Esta teoría se representa habitualmente mediante el cono de Dale que aparece en la figura y es una forma de intentar enlazar la teoría del aprendizaje con las comunicaciones audiovisuales.

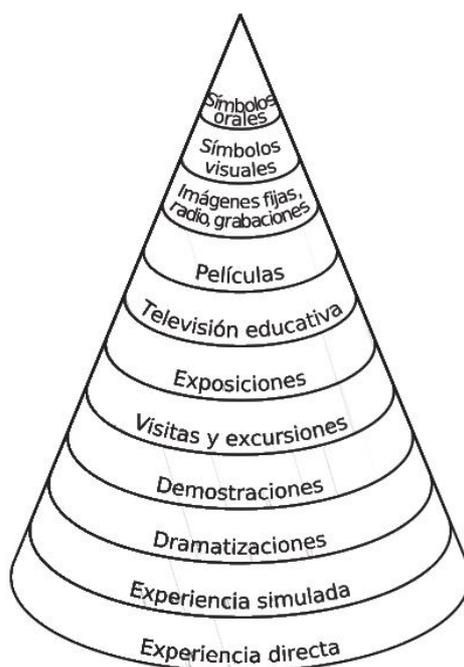


Fig. 1 Cono de Dale

Mediante esta figura se puede observar que el aprendizaje profundo se consigue *haciendo*, en lugar de *escuchando*. Los conceptos e ideas se pueden entender e interiorizar más fácilmente si están basadas en una experiencia directa que si lo están en una mera explicación.

Además, se representa todo un rango de recursos didácticos, que se ordenan de forma que las más próximas a la base del cono tienen mayor valor didáctico que las situadas más cerca del vértice.

Por último, cabe señalar que, a mayor nivel de realismo, mayor es la capacidad de una actividad docente para conseguir un aprendizaje significativo.

Contexto no formal

Durante la preparación del taller se consultó abundante bibliografía para abordarlo de la mejor manera posible. La idea principal es que los chavales realicen una actividad distinta a las que tienen habitualmente en clase, que permita, al mismo tiempo, aprender y motivar. Se puso especial énfasis en este aspecto. No sólo debe ser una diversión, debe resultar útil para el aprendizaje. Para ello, hay que adaptarse al contexto en que se realiza el taller: nivel del grupo, recursos, tiempo disponible... Hay mucho material para informarse de cómo enfocar un taller en este sentido.²

Son de interés talleres que se han implementado en otras Semanas de la Ciencia, pero también actividades organizadas por museos de ciencia, parques temáticos, planetarios, charlas divulgativas, programas de televisión... En general, se pueden obtener ideas de cualquier tipo de enseñanza no formal, en la que se generen actitudes positivas hacia el aprendizaje de la ciencia.

Los elementos motivadores del taller deben ser que los alumnos experimenten por sí solos, pero también que la persona que dirija el taller utilice objetos de uso cotidiano que acerquen la ciencia al día a día del alumno. En este sentido pueden ser útiles los experimentos de física recreativa.³ Muchos de ellos se pueden llevar a cabo con materiales baratos y caseros y, entre el alumnado, genera la sensación de que se pueden volver a realizar en casa por su cuenta.

Especial atención merecen como elemento motivador los juguetes.⁴ Algunas de las experiencias que se pueden llevar a cabo en un taller de sonido se pueden realizar con juguetes que los alumnos conocen y con los que han jugado cuando eran más pequeños. Hay mucha física detrás del funcionamiento de los juguetes. Se puede aprovechar el atractivo de un juguete para enlazar un juego con la física.

Si no sólo se muestra una experiencia sino que además se permite a los estudiantes que toquen, manipulen y experimenten con los objetos y juguetes, es más probable que el interés por el aprendizaje aumente.

Como se ha dicho, todas estas experiencias deben servir para motivar y estimular el interés del alumno, pero también deben aprender mediante su ejecución. La mera manipulación u observación de experiencias no es suficiente muchas veces para la conseguir el aprendizaje. En esos casos es necesaria una explicación que ayude a comprender los porqués de cada experiencia. Incluso aquellas experiencias en las que algo sale mal y no se obtiene el resultado esperado deben servir para aprender. Buscando los motivos por los que ha fallado y tratando de evitar los mismos errores en el futuro.

² El capítulo de Lozano, O. R. y Solbes, J. *¿Divulgación o entretenimiento? Ciencia Recreativa en los espacios televisivos* analiza los distintos programas o secciones de programas que emplean experiencias científicas, indicando hasta qué punto se utilizan como mero entretenimiento y no como un medio de divulgación.

³ Un libro de referencia es: Perelman, Y. *Problemas y experimentos recreativos*.

⁴ López-García, V. *La física de los juguetes* es un artículo en el que se describen distintas experiencias que se pueden llevar a cabo con juguetes. Algunas de ellas, relacionadas con las ondas y el sonido.

Propuesta de intervención

Con todo esto, se planteó un taller de sonido a modo de charla expositiva de 55 minutos de duración, en la que el profesor explicaba los conceptos al mismo tiempo que realizaba experiencias con las que captar la atención de los alumnos. Algunas de esas experiencias requerían interacción por parte de los estudiantes, mientras que en otras eran directamente ellos quienes las llevaban a cabo.

Se hizo la siguiente selección de experiencias para el taller:

- Experiencia 1: Ondas con un muelle.
- Experiencia 2: Características de las ondas con el editor de sonido Audacity.
- Experiencia 3: Propagación del sonido en medio sólido.
- Experiencia 4: Ver el sonido.
- Experiencia 5: Rango audible.
- Experiencia 6: Medida de la velocidad del sonido en aire.
- Experiencia 7: Resonancia.

Se decidió hacerlas en el orden que aparece aquí expuesto, porque permite mostrar muchos conceptos de manera secuencial, yendo de los fundamentales a aspectos más específicos, aunque podría alterarse esta ordenación.

Estas experiencias son las que finalmente se seleccionaron para el taller, pero hay otras que se descartaron por el hecho de disponer de un tiempo limitado. Se barajaron otras opciones, tales como usar tubos y barras para generar sonidos, experiencias con instrumentos musicales, apps de ondas y sonido, osciloscopios, analizadores de espectros, etc., que suponen una reserva de experiencias en el caso de que se quiera ampliar este taller.

De forma paralela a las experiencias, se dieron una serie de explicaciones, como se recoge en este texto. De cara a futuros talleres, hay que tener en cuenta que todas estas explicaciones hay que adaptarlas al nivel los alumnos asistentes. En este caso, todos los alumnos estaban cursando 3º de la ESO, pero se podría profundizar más en algunos temas si los alumnos fueran de cursos superiores.

Experiencia 1: Ondas con un muelle

Para explicar los tipos de ondas se empleó un muelle de plástico de colores de juguete, conocido popularmente como *Slinky*. Es barato y los estudiantes lo conocen porque han jugado con él en su infancia.

En una primera demostración, se coloca el muelle horizontalmente sobre una mesa alargada y se pide a un estudiante que sujete uno de sus extremos junto al borde de la mesa. El profesor agarra el otro extremo del muelle y lo estira hasta el borde opuesto de la mesa. Haciendo un impulso en la dirección perpendicular al eje del muelle se puede ver una onda transversal que se propaga hacia el extremo en que está el alumno. Al chocar con la mano del estudiante, la onda hace el camino de retorno hacia el profesor. Es interesante observar que si el impulso se da hacia el lado derecho del eje del muelle, la onda viaja por el lado derecho pero vuelve por el izquierdo, y viceversa.

Sin soltar el *Slinky*, se muestra cómo es una onda longitudinal, haciendo impulsos en la dirección del eje del muelle. En este momento se explica qué es una onda de presión. A lo largo del muelle hay zonas en las que las espiras están unas más cerca de las otras, mientras que en otras zonas la distancia entre espiras es mayor. Análogamente, cuando se transmite una onda sonora a través del aire, habrá zonas en las que las moléculas de aire estén más juntas entre sí y otras en las que haya una separación mayor. En las zonas en las que las partículas están muy próximas entre sí decimos que la presión es alta, mientras que una gran separación entre partículas indica que la presión es baja. Las moléculas del aire (las espiras del muelle) no se trasladan de un punto a otro, lo que varía es la separación entre las mismas y es a esa variación de presiones lo que denominamos onda sonora. Esta explicación es coherente con el nivel de conocimientos de los alumnos de 3º de ESO, que a lo largo del curso han aprendido que la materia está formada por partículas (átomos y moléculas) y que entre esas partículas hay espacio vacío.

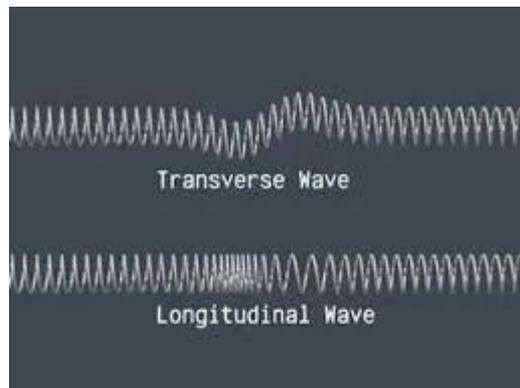


Fig. 2 Ondas longitudinales y transversales

En una segunda demostración se pueden explicar las ondas estacionarias. Esta vez es mejor prescindir de la mesa. Un alumno sujeta un extremo del muelle y el profesor el otro. El muelle debe quedar tendido en el aire con una distancia relativamente grande entre sus extremos. Mientras el alumno mantiene fijo su extremo, el profesor agita el otro de arriba abajo. Repitiendo este movimiento con la frecuencia adecuada, se consigue ver el primer armónico en el muelle. Aumentando la frecuencia, se puede ver el segundo. Si se aumenta todavía más, se consigue ver el tercero, y así sucesivamente. Con un poco de práctica, es sencillo conseguir ver los primeros armónicos, y cuanto mayores sean los armónicos, más difícil se hace excitar al

muelle con la frecuencia adecuada. Con el muelle empleado en esta ocasión, se pueden ver los tres primeros armónicos con muy poco esfuerzo.

Unas recomendaciones relativas al material empleado: En el mercado se pueden conseguir muelles de distintos colores y tamaños. Antes de la implementación del taller se hicieron pruebas con tres muelles distintos. Dos de esos muelles no eran de un solo color, sino que estaban pintados de varios colores vivos. El tercero era de un solo color (verde oscuro) y además era algo más largo (unos 15cm, comprimido) que los anteriores. Se optó por emplear este último, dado que, a mayor longitud, mejor se puede apreciar el movimiento ondulatorio. La segunda razón es que, dependiendo del color de la mesa o de la pared que se utilice como fondo, algunos de los colores del muelle no resaltan demasiado y dificulta la visibilidad de las ondas. En el caso que nos ocupa, teniendo una mesa blanca y una pared de color claro, el verde oscuro del resorte permite apreciar todos los movimientos con claridad.

Experiencia 2: Características de las ondas con Audacity

Una vez explicados los conceptos de frecuencia y amplitud en ondas es un buen momento para introducir conceptos aplicados al sonido, como son la intensidad, el tono y el timbre.

Una buena herramienta para este propósito es el programa informático Audacity. Se puede descargar gratuitamente desde www.audacityteam.org y tiene la ventaja de que algunos de los alumnos pueden conocerlo. Audacity es un programa de edición de audio que permite, entre otras cosas, generar, grabar y reproducir sonidos. Para llevar a cabo esta experiencia, no hace falta tener unos conocimientos avanzados de Audacity. Basta con conocer algunas de sus funciones más sencillas, para el empleo de las cuales el programa es bastante intuitivo.



Fig. 3 El equipo necesario es un ordenador con altavoces



Fig. 4 Logotipo de Audacity

El primer paso en este taller de sonido es preparar con antelación varios tonos distintos y guardarlos en un archivo. En esta ocasión se optó por generar ocho tonos correspondientes a ocho notas de una octava. Desde do (262Hz) hasta do (523Hz). Esto se puede hacer con Audacity pinchando en Menú>Generar>Tono. El programa da la opción de escoger la forma de onda, la frecuencia, la amplitud y la duración del tono que queremos crear. Hay que repetir el proceso tantas veces como tonos se pretendan generar, ocho en nuestro caso. En todos ellos se escogió una forma de onda sinusoidal de amplitud 0,8 y duración de 5s. La única diferencia entre ellos era la frecuencia, para la cual se siguieron los valores de la siguiente tabla.

Tabla 2

Nota	do	re	mi	fa	sol	la	si	do
Frecuencia (Hz)	262	294	330	349	392	440	494	523

Con Audacity se pueden ver por pantalla las formas de onda de los tonos creados, aparte de permitir escucharlos de uno en uno o varios de ellos al mismo tiempo. Esto permite que los estudiantes puedan apreciar la diferencia de frecuencias entre distintos tonos mediante sus oídos al tiempo que ven las frecuencias de las distintas ondas en pantalla. Con este material se puede explicar cómodamente el concepto de frecuencia aplicándolo al sonido, de forma que los alumnos asocien frecuencias altas con tonos agudos y frecuencias bajas con tonos graves.

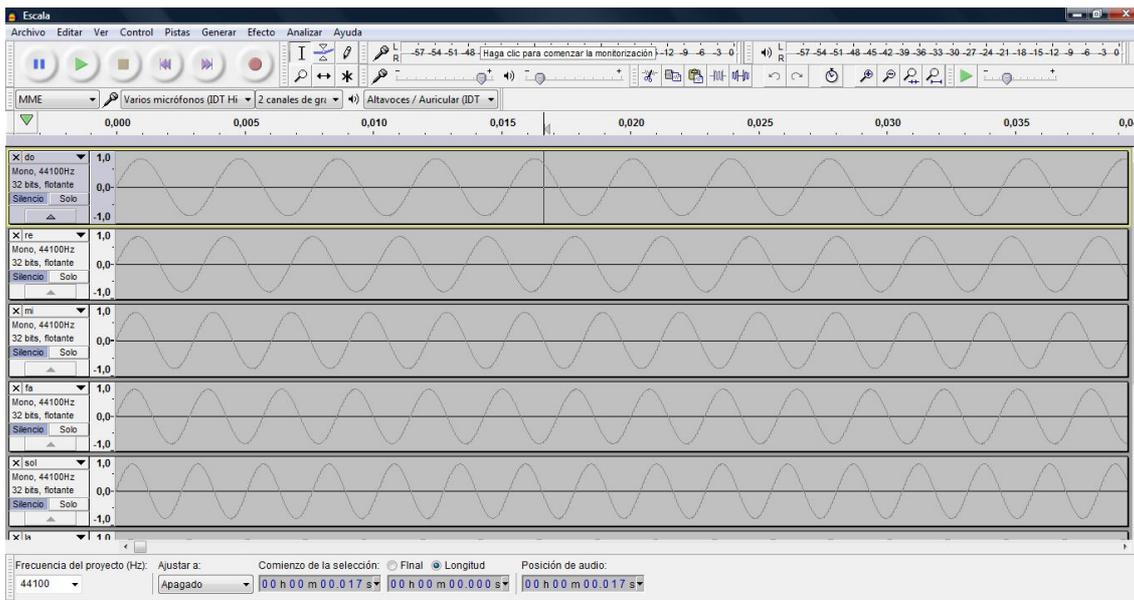


Fig. 5 Tonos creados con Audacity

Como curiosidad, se ejecutan los sonidos de las ocho notas a la vez. Lo único que se oye es ruido. Se les explica a los alumnos que nuestro cerebro es incapaz de distinguir las ocho notas cuando éstas llegan a la vez, por lo que tenemos una percepción desagradable del sonido que emite el altavoz. Cuando ejecutamos los tonos individualmente, el cerebro identifica cada vez un sonido que se nos hace agradable.

El concepto de intensidad lo comprenden también utilizando estos tonos puros. Simplemente girando la rueda que regula el volumen del altavoz, e indicándoles que esto supone una variación en la amplitud de la onda sonora se consigue. Conviene recordarles que la intensidad del sonido no sólo depende del volumen al que conectemos el altavoz, sino que también depende de la distancia a la que nos situemos del mismo.

El concepto de timbre es seguramente el más complicado de interiorizar. Con alumnos de 3º de ESO la explicación que se puede dar es muy básica. Para ello hay que tener en cuenta que no saben lo que es una función sinusoidal, por lo que no tiene mucho sentido entrar en detalles de armónicos si se dispone de poco tiempo. Sí que sería interesante hacerlo en cursos más avanzados, pero no es el objeto de este texto. Al nivel que nos ocupa, debe ser suficiente con que los alumnos relacionen los distintos timbres por el hecho de que las formas de las ondas son distintas. Se puede hacer una pequeña demostración para ilustrar esto.

Tras haber visto y escuchado tonos puros de distintas frecuencias, se pide a un alumno que coja el micrófono. Primero se le graba un silbido y luego la voz. Por la pantalla aparecen las formas de onda correspondientes a estos dos sonidos, tal como se puede ver en la figura.

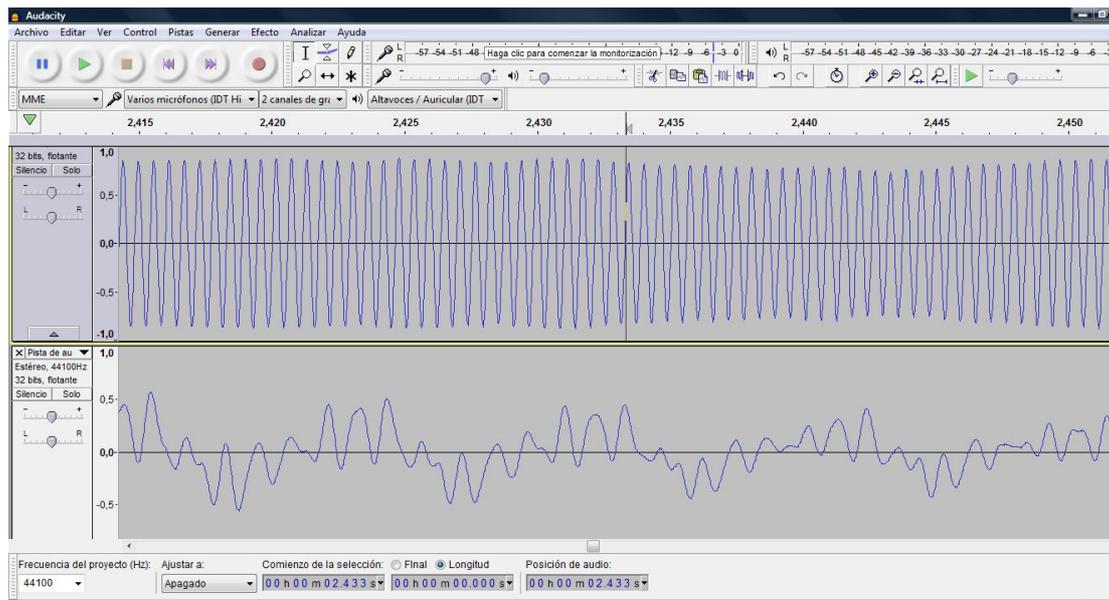


Fig. 6 Silbido y voz grabados con Audacity

Los alumnos pueden observar estas dos ondas una encima de la otra. La superior es la asociada al silbido. Tiene una forma prácticamente idéntica a una sinusoidal, con pequeñas variaciones. Los estudiantes deben observar que la forma de onda del silbido es muy parecida a la de los tonos puros que acaban de ver. La onda inferior tiene una forma más irregular. Es importante que los alumnos vean que incluso en esa irregularidad se puede apreciar un patrón que se repite. Cuántas veces se repite ese patrón cada segundo es lo que nos marca el tono del sonido. La forma del patrón es la que marca el timbre. Es por eso que sonidos que tengan el mismo tono pueden tener formas de onda (timbres) distintos. Esto se puede comprender fácilmente si pensamos en un piano y una trompeta tocando la misma nota. Incluso aunque el tono sea el mismo, nuestro cerebro puede distinguir que los sonidos no son iguales.

El equipo necesario para esta experiencia es más caro que el de la primera, pero perfectamente asumible para un centro de secundaria. Hace falta un ordenador con el programa Audacity instalado, un micrófono y un altavoz.

Como el análisis de ondas que se hace es cualitativo, no es necesario que la calidad del micrófono y el altavoz sea especialmente buena. Sirve prácticamente cualquier altavoz o micrófono comercial. Por la misma razón, la frecuencia de muestreo (que se puede ajustar con Audacity) no hace falta que sea muy alta. Durante la realización de esta experiencia en el taller de sonido se empleó una frecuencia de muestreo de 44100Hz, que es la que proporciona la versión de Audacity empleada por defecto.

Si se quisiera hacer un análisis cuantitativo, Audacity da la opción de analizar el espectro de la onda grabada. Para ello hay que seleccionar el intervalo en el cual se quiere analizar y mediante la función Menú>Analizar>Análisis de espectro se muestra por pantalla la ganancia de cada una de las frecuencias.

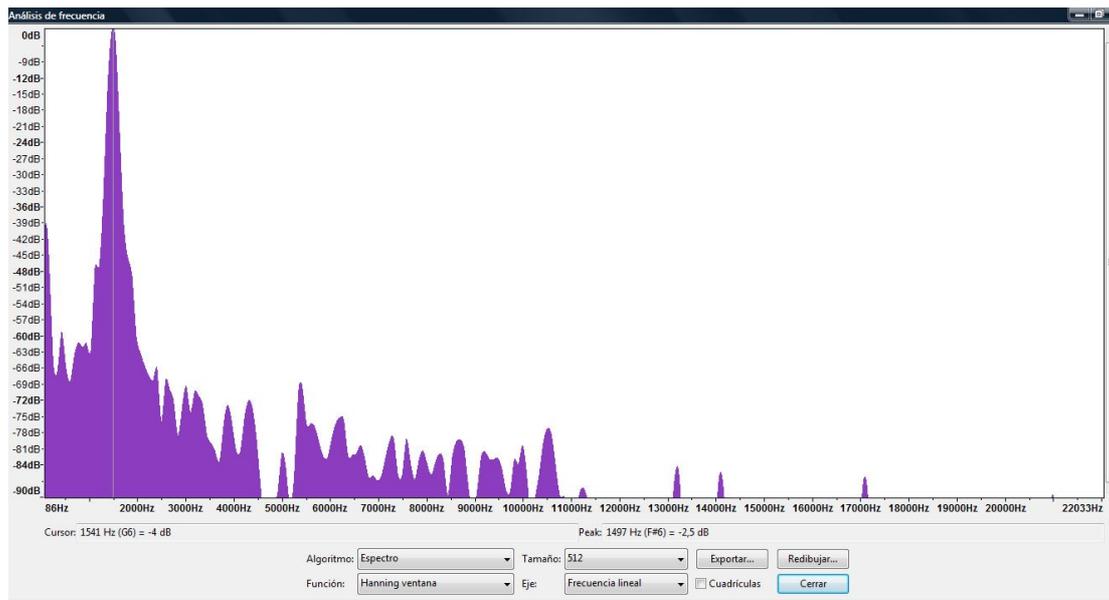


Fig. 7 Análisis de espectro con Audacity

En la figura se muestra el espectro de un silbido. En ella se puede apreciar la frecuencia del armónico fundamental (el pico más alto) y las frecuencias del resto de armónicos (picos situados a la derecha). Durante el taller de sonido no se hizo este tipo de análisis, debido a que no se adapta al nivel de conocimientos de 3º de la ESO, aunque es interesante saber que existe la posibilidad de hacerlo para alumnos de cursos superiores.

Experiencia 3: Propagación del sonido en medio sólido

Las ondas sonoras necesitan un medio para propagarse. Los alumnos están habituados a que ese medio sea el aire, pero pueden ser muchos más. Ni siquiera es necesario que el medio de propagación sea un gas. El sonido también puede ser transmitido a través de líquidos y sólidos. Los alumnos de 3º de la ESO han oído esto varias veces a lo largo de su vida estudiantil, pero probablemente no lo hayan comprobado de una manera clara. El típico ejemplo que se pone para ilustrar que el sonido se transmite a través de sólidos es el de las películas del oeste, en las que los indios oyen que el tren se aproxima acercando el oído a los raíles. Un buen ejemplo, pero en esta experiencia se propone comprobarlo personalmente sin incurrir en los riesgos que supone apoyar la cabeza sobre la vía del tren.

Para llevar a cabo la experiencia hay que ensamblar un sencillo artilugio con materiales caseros. Éstos son:

- Una percha de alambre.
- 2 trozos de cordel de entre 30-50cm de longitud.
- 2 vasos de plástico desechables.

El primer paso es agujerear el centro del fondo de los vasos con una aguja o similar. El orificio debe ser lo más pequeño posible pero que permita el paso del cordel por el mismo. El segundo paso es atar uno de los extremos del cordel a la percha. El otro extremo debe introducirse por el orificio del vaso y anudarse de forma que el conjunto percha-cordel-vaso no pueda soltarse fácilmente. Para finalizar, se atan el segundo cordel y el segundo vaso de la misma forma que los primeros, asegurándose que los nudos son lo suficientemente robustos como para aguantar pequeños tirones.

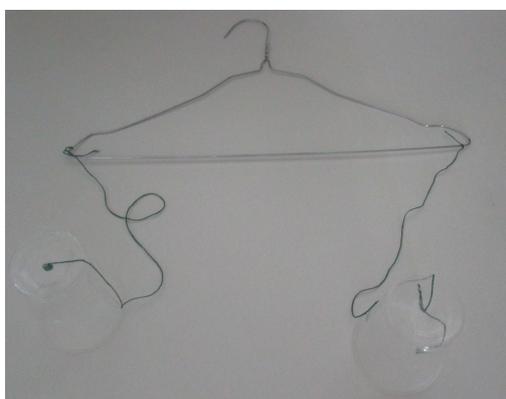


Fig. 8 Montaje de perchas y vasos

Una vez construido el artilugio se puede proceder con el experimento. Para empezar, el profesor debe sujetar la percha con una mano y los dos cordeles con la otra, de forma que éstos no queden tensos. Al golpear la percha contra un objeto contundente (una mesa puede servir) ésta comienza a vibrar. Esta vibración llega a los oídos de los estudiantes a través del aire. Los alumnos comprueban que el sonido percibido es relativamente débil, hay que esforzarse para escucharlo.

Es entonces cuando se le pide al alumno que se cubra las orejas con los vasos y deje colgar la percha de forma que los cordeles queden tensos. Dando un leve golpecito con un bolígrafo en la percha o golpeándola contra una mesa se produce el efecto. Al recibir el impacto, la percha comienza a vibrar y esa vibración no llega a los oídos del alumno a través del aire, sino a través

de los cordeles (sólidos). Los alumnos se sorprenden de que el sonido percibido tiene una intensidad mucho mayor que cuando se propagaba a través del aire. Recuerda un poco al de las campanas de las iglesias. La conclusión es que las ondas sonoras se pueden propagar también a través de medios sólidos como los cordeles o los raíles de la vía del tren.

Para la implementación del taller de sonido no se preparó sólo uno de estos artilugios. Se construyeron uno por cada dos o tres alumnos, de forma que todos ellos pudieran realizar el experimento.

A modo de recomendación, es habitual que algunos alumnos intenten llevar a cabo el experimento sin levantarse de la silla, de forma que la percha apoya sobre la mesa o sobre sus cuerpos en lugar de quedar colgante. Si la percha no cuelga, el experimento no sale bien. Para que todo funcione, es recomendable hacerlo de pie.

Por último, un aviso. El montaje del artilugio, aunque sea sencillo, lleva su tiempo. Más aún si se prepara más de uno. Además hay que tener cuidado de que no se enreden los cordeles de los distintos artilugios durante el transporte y el almacenamiento.

Durante el taller de sonido se habla también del oído humano y su funcionamiento. Para ello, es útil una maqueta desmontable que los alumnos puedan manipular con sus propias manos. Es factible que un centro de secundaria disponga de alguna maqueta de este tipo, pero si no, se puede sustituir por una imagen como la de la figura.



Fig. 9 Oído humano

Los alumnos de 3º de ESO han estudiado (o van a estudiar) el sistema auditivo humano a lo largo del curso. Conviene hacer un breve recordatorio de cómo funciona: la onda sonora se transmite a través del aire, penetra por el canal auditivo externo y llega al tímpano. El tímpano es una membrana que al recibir las variaciones de presión debidas a la onda sonora comienza a vibrar y transmite esa vibración a una cadena formada por huesos que también vibran. El movimiento vibratorio de los huesos se transmite al líquido coclear y ésta vibración es la que perciben las células receptoras y envían la señal al cerebro.

En todo este proceso hay una parte que está directamente relacionada con la experiencia que acaban de llevar a cabo los alumnos. Se trata de la cadena de huesecillos. Su funcionamiento es similar al de los cordeles del artilugio que han empleado. La cadena (corder) es un medio sólido mediante el cual se puede transmitir la vibración del tímpano (percha).

Experiencia 4: Ver el sonido

Ésta es una de las experiencias más espectaculares y que más éxito tiene entre los alumnos. Están acostumbrados a oír el sonido. Pero ahora van a verlo. Esta afirmación les sorprende a la vez que capta su atención.

En este caso también se requiere cierta preparación previa a la demostración. Los materiales necesarios son:

-Un cilindro hueco (el cartón de un rollo de papel higiénico, una lata de refresco abierta por las dos bases, un trozo de tubo,...).

-Un globo.

-Un espejo pequeño.

-Un puntero láser.

-Un altavoz.

Una vez más, los materiales son baratos y relativamente sencillos de conseguir. Y el montaje no ofrece mucha dificultad. El primer paso es cortar el globo de forma que se pueda cubrir una de las bases del cilindro con el mismo. Una vez cubierta la base, el globo debe quedar tenso, por lo que conviene sujetarlo al cilindro. Una goma elástica o un poco de cinta adhesiva pueden servir a este efecto. El siguiente paso consiste en pegar el espejito al globo, como se puede apreciar en la figura. Es importante que el espejito no apoye sobre las paredes del cilindro, debe poder vibrar cuando lo haga el globo.



Fig. 10 Dispositivo para ver el sonido

Una vez montado el dispositivo, toca ponerlo en práctica. Durante la ejecución de la experiencia, la base del cilindro que ha quedado libre debe estar en contacto con el altavoz. Para mayor comodidad, conviene que el altavoz se pueda colocar con la membrana "mirando hacia arriba", de forma que el cilindro se pueda colocar verticalmente sobre el altavoz sin necesidad de sujetarlo con la mano. Los altavoces que se usan habitualmente en ordenadores de mesa son muy prácticos en este caso.

El puntero láser debe incidir sobre el espejo, de forma que su reflejo se vea en el techo. Cuando el altavoz emite sonidos, la membrana (el globo) vibra. Al estar pegado sobre esa membrana, el espejo también vibra y esto provoca que el reflejo del rayo láser se mueva en el techo. Las figuras que aparecen representadas en el techo impresionan a los alumnos. Están viendo el sonido.



Fig. 11 Figuras de Lissajous creadas en el techo

En realidad, las figuras que se ven en el techo no son tales. Cuando el altavoz estaba apagado se veía un punto en el techo. Al poner en funcionamiento el altavoz seguimos viendo el mismo punto, pero esta vez en movimiento. Lo que ocurre es que el movimiento del punto es tan rápido que somos incapaces de distinguirlo y nos parece ver una línea continua que cambia de forma. Esas formas tienen nombre propio, son las llamadas curvas de Lissajous. Hay mucha matemática detrás de este fenómeno, fuera del alcance de los alumnos de 3º de ESO, por lo que se obvió este detalle durante el taller de sonido. No obstante, puede ser interesante comentarlo si se lleva a cabo un taller parecido en cursos superiores.

Esta experiencia se planteó de dos maneras durante el taller de sonido. En la primera, se aprovecharon los tonos puros que se habían con generado Audacity para la experiencia 2. Con cada tono se puede ver claramente una curva de Lissajous distinta en el techo. Se aprecian especialmente bien los tonos más graves. En la segunda, se reproduce una canción que pueda gustar a los alumnos. En este caso es más difícil discernir entre una curva y otra, pero tiene la ventaja de que permite que algún alumno conecte su teléfono móvil al altavoz y que reproduzca alguna canción de su gusto, lo cual puede ser muy motivador.

Se puede relacionar lo realizado en esta experiencia con la imagen o la maqueta del oído humano que se ha expuesto en la tercera experiencia. El proceso por el cual la onda sonora llega al tímpano a través del canal auditivo, es análogo a cómo la onda sonora se propaga a través del cilindro de cartón. Cuando la onda llega a la membrana del tímpano (respectivamente del globo) ésta membrana empieza a vibrar. El tímpano vibra de manera muy parecida a cómo se ha visto vibrar el globo.

Para acabar, algunas cuestiones a tener en cuenta para la ejecución de esta experiencia. Los laboratorios de los centros de secundaria suelen disponer de pequeños soportes para sujetar distintos objetos durante las prácticas. Conviene, por comodidad, utilizar uno de estos soportes para sujetar el puntero láser durante realización de la experiencia. La razón es que si el espejo es muy pequeño, hace falta tener muy buen pulso para que el rayo incida siempre sobre el espejo. En caso de tener estos soportes, puede ser interesante llevar a cabo el experimento con dos punteros láser de distintos colores incidiendo sobre el mismo espejo. El hecho de ver dos curvas a la vez sobre el techo puede ser muy estimulante para los alumnos.

Es recomendable que la habitación en la que se lleve a cabo la experiencia esté poco iluminada, aunque no es necesaria una oscuridad absoluta.

El aspecto más problemático de esta experiencia puede ser el espejo. Debe ser lo suficientemente pequeño como para que no apoye sobre las paredes del cilindro y no es fácil tener a mano un espejo de esas dimensiones. Para la implementación del taller de sonido se utilizó la lentejuela de un cojín a modo de espejo. Hay que resaltar que a este respecto, no sirve cualquier objeto que refleje la luz. Puede ser tentador intentar utilizar un pedazo de

papel de aluminio o un pequeño fragmento de un CD roto. Pero estos objetos no darán el resultado deseado. La forma de comprobar si un objeto puede hacer la labor de espejo es apuntando con el puntero láser sobre el objeto. Si el reflejo del rayo es un punto nítido, podemos seguir adelante con el experimento. Si, por el contrario, lo que se ve reflejado es una mancha, debemos buscar otro espejo.

Experiencia 5: Rango audible

Se ha visto que las ondas sonoras se pueden transmitir a través de medios sólidos, líquidos o gaseosos. Surge la pregunta ¿Podemos oír cualquier vibración? La respuesta de los alumnos es inmediata. No podemos. Y la razón que dan es que no somos capaces de percibir sonidos de baja intensidad. Y es cierto. Pero la intensidad no es la única limitación que tenemos los humanos para percibir sonidos. Hay otra limitación en la frecuencia. Un oído humano joven y sano es capaz de detectar frecuencias en el rango de 20Hz a 20kHz.

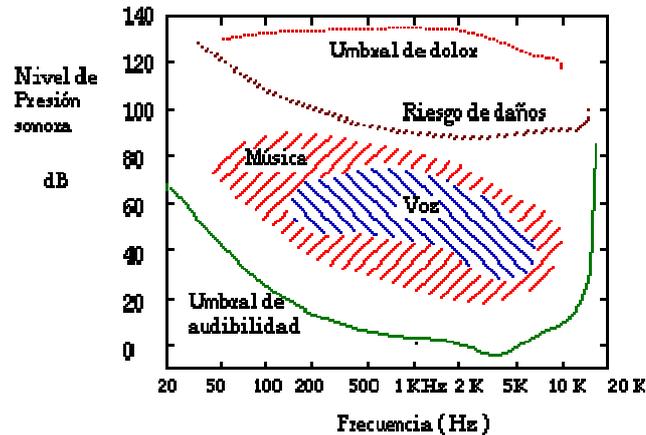


Fig. 12 Rango audible

El diagrama muestra de manera esquemática la relación entre la intensidad y la frecuencia que es capaz de percibir un oído humano, además de indicar a partir de qué intensidades y frecuencias se corre riesgo de sufrir daños en el sistema auditivo.

Como ya se ha comentado, el rango audible de frecuencias está entre 20Hz y 20kHz. Pero estos valores límite son válidos para oídos jóvenes y sanos. Con el paso del tiempo, el rango se va reduciendo, especialmente se resienten las frecuencias altas. Lo mismo puede ocurrir cuando una persona sufre o ha sufrido alguna enfermedad que afecte a los sistemas auditivo o nervioso.

La experiencia que se propone consiste en generar un barrido de frecuencias desde las más bajas hasta 20kHz y comprobar que cada persona presente en la sala deja de oír en momentos distintos.

Para generar el barrido se empleó una vez más el programa Audacity. Para ello, basta con disponer de un ordenador con altavoces, tal y como ocurría en la experiencia 2 (ver Fig. 3). Mediante la función menú>Generar>Chirp el programa nos muestra una ventana en la que debemos indicarle las propiedades del barrido que queremos crear. Se puede escoger el rango de frecuencias entre 1Hz y 20kHz y la duración de un minuto. No es difícil encontrar en Internet experiencias parecidas a ésta. Pero generar el barrido por nuestra cuenta permite controlar aspectos como la duración o centrarse en un rango de frecuencias concreto.

Se informa al público asistente al taller de sonido que van a escuchar un pitido, inicialmente grave pero que conforme pase el tiempo se hará más agudo. Durante algunos segundos el pitido será desagradable, y llegará un momento en el que dejarán de oírlo. En ese instante deben levantar la mano y permanecer en silencio.

Es curioso ver cómo cada uno levanta la mano en un instante distinto. Como cabe esperar, los adultos (profesores) suelen levantarla antes que los adolescentes (alumnos), ya que con la edad se pierde capacidad de percibir las frecuencias más altas.

Una vez más, el análisis del rango audible realizado es cualitativo. Nos conformamos con ver que algunas personas dejan de percibir ondas de frecuencias más bajas que otras. No se ha intentado determinar con precisión cuál es la frecuencia a partir de la cual deja de oír cada persona. Si se pretendiera medir con más detalle la frecuencia límite exacta, se podrían generar tonos puros con intervalos de, por ejemplo, 1kHz y comprobar cuáles de esos tonos somos capaces de percibir y cuáles no. Sin embargo, el objetivo de la experiencia era que los estudiantes tomaran conciencia de que la intensidad no es la única variable que determina si vamos a poder percibir un sonido o no. También influye la frecuencia. Y cada persona tiene un rango de frecuencias que puede detectar. Además, ese rango varía con la edad y con el trato que haya recibido el oído.

A modo de curiosidad, los sonidos por encima de 20kHz son los denominados ultrasonidos. Aunque los humanos no seamos capaces de percibirlos, sí que pueden ser percibidos por algunos animales, como los perros o los murciélagos.

Es necesario hacer una advertencia de seguridad a quien pretenda llevar a cabo esta experiencia. El volumen del altavoz no debe estar demasiado alto. Aunque a bajas frecuencias se oiga un sonido muy débil y la tentación sea de subir el volumen, no conviene hacerlo. Conforme aumenta la frecuencia el oído tiene más capacidad de percibir sonidos y la sensación será de que el volumen ha aumentado pese a que no hayamos movido la rueda del altavoz. Hay que tener en cuenta que, a partir de cierta frecuencia, el pitido es realmente desagradable, incluso pudiendo llegar a ser dañino, por lo que es importante que la amplitud de la onda no sea demasiado grande.

Una segunda advertencia, esta vez relacionada con la tecnología. Al igual que el oído humano, los altavoces tienen limitaciones debidas a la frecuencia. Dependiendo de la calidad del altavoz, es posible que, a partir de cierta frecuencia, deje de emitir sonidos. También puede pasar que siga emitiendo un sonido a la frecuencia máxima que puede emitir, pero que esa frecuencia sea menor que la que nos está indicando el programa por pantalla.

Experiencia 6: Medida de la velocidad del sonido en aire

Con esta experiencia se pretende comprobar un dato que los alumnos conocen. Han oído más de una vez que el sonido se propaga a una velocidad de 340m/s en el aire. El caso práctico más empleado se da probablemente a la hora de medir la distancia a la que se encuentra una tormenta. Como medida aproximada, cada tres segundos de desfase desde que se ve el relámpago hasta que se oye el trueno supone un kilómetro de distancia hasta la tormenta. Se les propone a los alumnos medir la velocidad del sonido para corroborar si estos datos son ciertos.

A lo largo de la historia, se han empleado varios métodos para medir la velocidad del sonido en el aire. El primero en hacerlo fue Galileo Galilei.

Midió la diferencia de tiempo entre el instante en que se ve el fogonazo de un cañonazo y el momento en que se oye el sonido de ese cañonazo. Didácticamente es útil, pero muy impreciso. Para que haya una diferencia de tiempo apreciable el cañón debe estar muy lejos de la persona que va a medir y entonces va a afectar el viento. Además, el tiempo medido va a ser corto y la influencia de la velocidad de respuesta de esa persona supone una fuente de error muy grande. Además, hay que tener en cuenta que los medios para medir el tiempo de que disponía Galileo no tenían la precisión de los actuales. Baste decir que en el siglo XVII no había cronómetros.

En la preparación del taller se consideraron dos métodos para medir la velocidad del sonido. El primero⁵ se basa en el fenómeno de la resonancia. Los materiales necesarios son:

- Un cubo lleno de agua.
- Un tubo abierto por los dos extremos.
- Un diapasón.
- Cinta métrica.

En el cubo de agua se introduce verticalmente el tubo, sin llegar a sumergirlo del todo. En el extremo que queda fuera del agua, se coloca un diapasón, al que se hace vibrar. La onda sonora del diapasón atraviesa el tubo y, al chocar con el agua, se crea una onda estacionaria. Desplazando el tubo en vertical, se puede detectar (a oído) cuándo el extremo del tubo coincide con un nodo o un vientre de la onda estacionaria, y se mide la longitud del tubo que queda fuera del agua en ese instante. Sabiendo la longitud de onda, se puede calcular la velocidad de propagación.

⁵ Este método aparece explicado (además de otras experiencias) en el artículo de Cros, A. y Ferrer-Roca, C. *Física por un tubo. Mide la velocidad del sonido en el aire y diviértete con los tubos sonoros.*

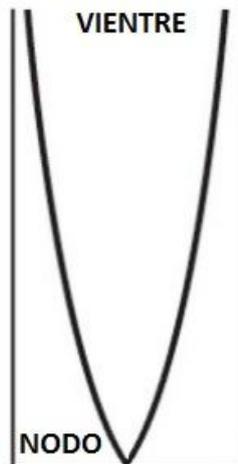


Fig. 13 Onda estacionaria en un tubo cerrado por un extremo

La distancia entre un nodo y un vientre es de $\lambda/4$, por tanto, el primer vientre donde se intensificará el sonido del diapasón lo encontraremos a una altura L del tubo:

$$L = \lambda/4.$$

La velocidad del sonido:

$$v = s/t \rightarrow c = \lambda/T = \lambda f$$

Por lo que:

$$c = 4Lf$$

donde f es la frecuencia del diapasón y L la longitud del tubo a la que se produce el máximo.

Este método es sencillo y rápido de llevar a cabo. Acaso lo más difícil sea conseguir un diapasón, aunque, en un centro de secundaria es posible que el departamento de música pueda ayudarnos en este aspecto.

El inconveniente de este método es que los alumnos deben conocer teoría sobre ondas estacionarias. En 3º de la ESO, todavía no la conocen. Ésta es la razón por la que se descartó este método, pero conviene tenerlo en cuenta para cursos superiores.

El segundo método, que fue el que finalmente se llevó a cabo, es más directo. Los materiales necesarios son:

- 2 micrófonos.
- 1 tarjeta de sonido con dos entradas.
- Un ordenador con el software Audacity.
- Cables que permitan conectar la tarjeta a los micrófonos y al ordenador.



Fig. 14 Montaje para la medición de la velocidad del sonido en el aire

El experimento consiste en colocar los dos micrófonos a una distancia conocida entre sí. Producir un sonido en la prolongación de la recta que une los dos micrófonos y medir el desfase entre las ondas llegadas a uno y otro micrófono. Conociendo el tiempo que tarda la onda sonora en recorrer la distancia entre los micrófonos y la distancia, se puede calcular la velocidad del sonido.

Audacity muestra en pantalla la forma de onda captada por los dos micrófonos.

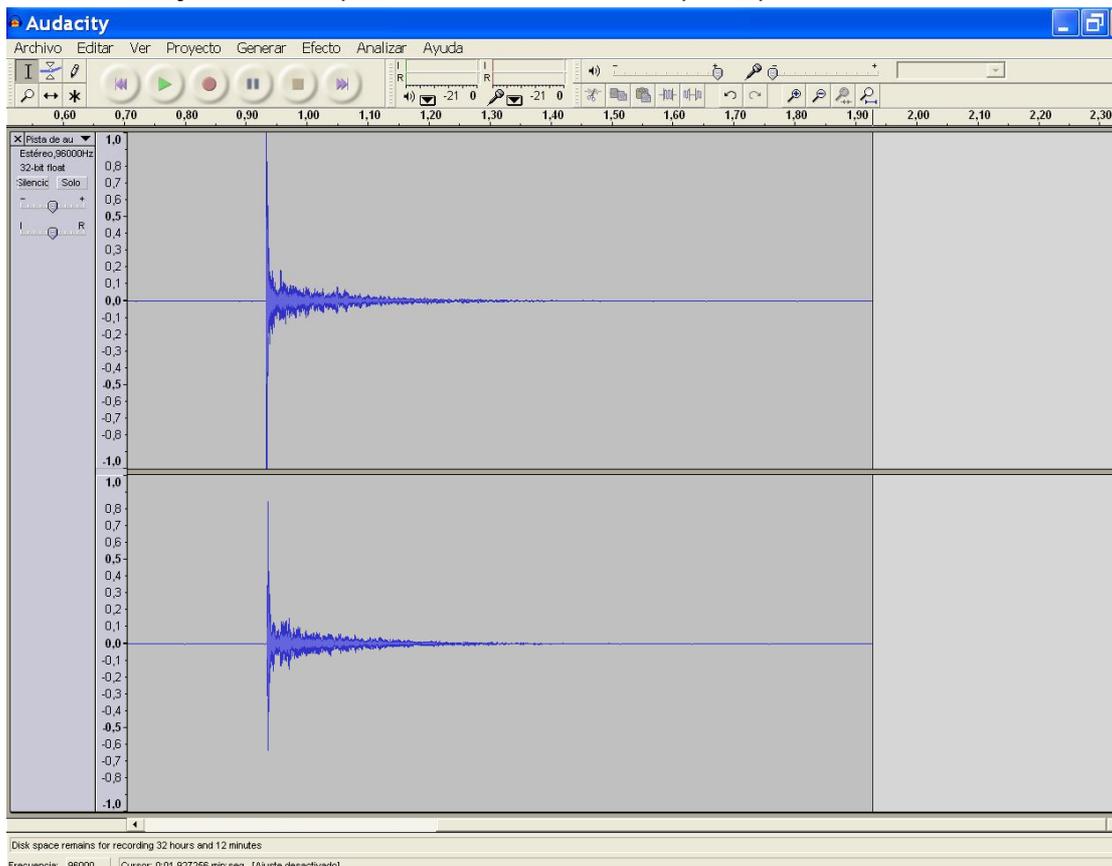


Fig. 15 Grabación de los dos micrófonos

A simple vista es difícil percatarse de que hay un desfase entre ambas, pero Audacity permite ampliar la zona en la que comienza el impulso.

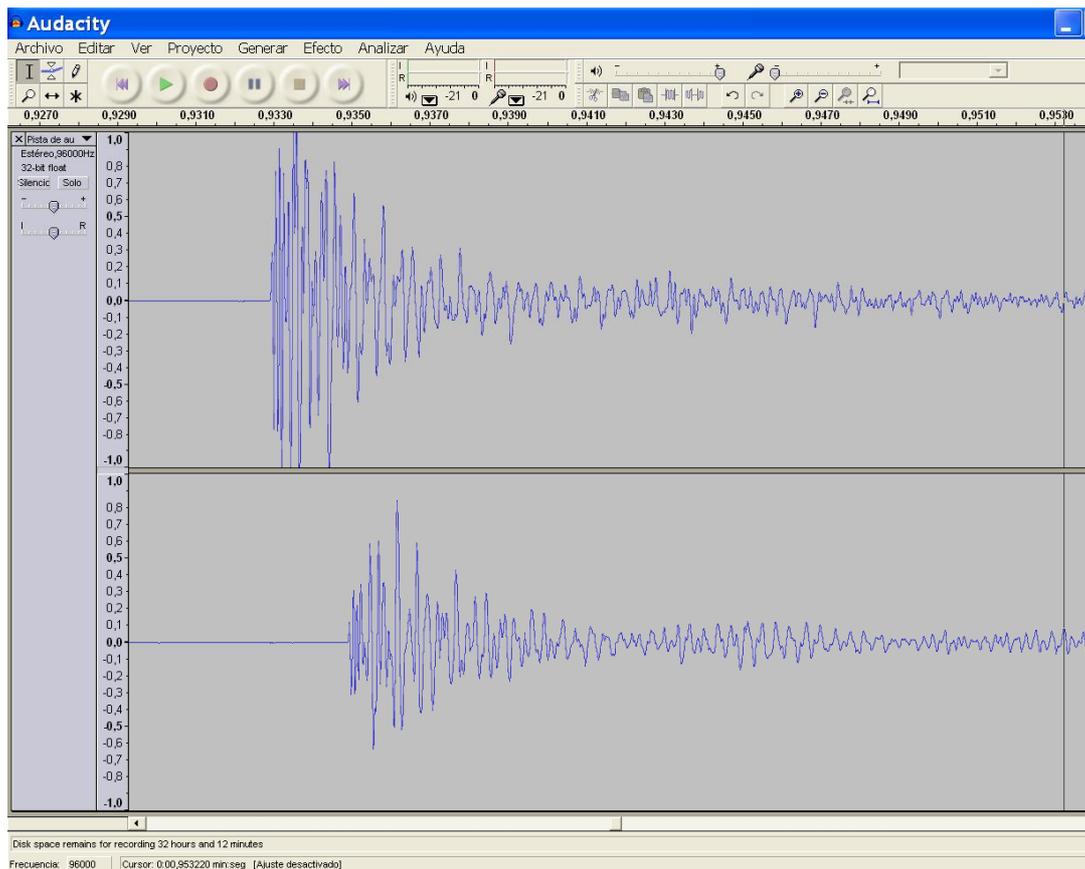


Fig. 16 Ampliación de la zona en la que se ha grabado el impacto

Se puede ampliar todo lo necesario hasta que se pueda medir el desfase entre los primeros picos de cada onda.

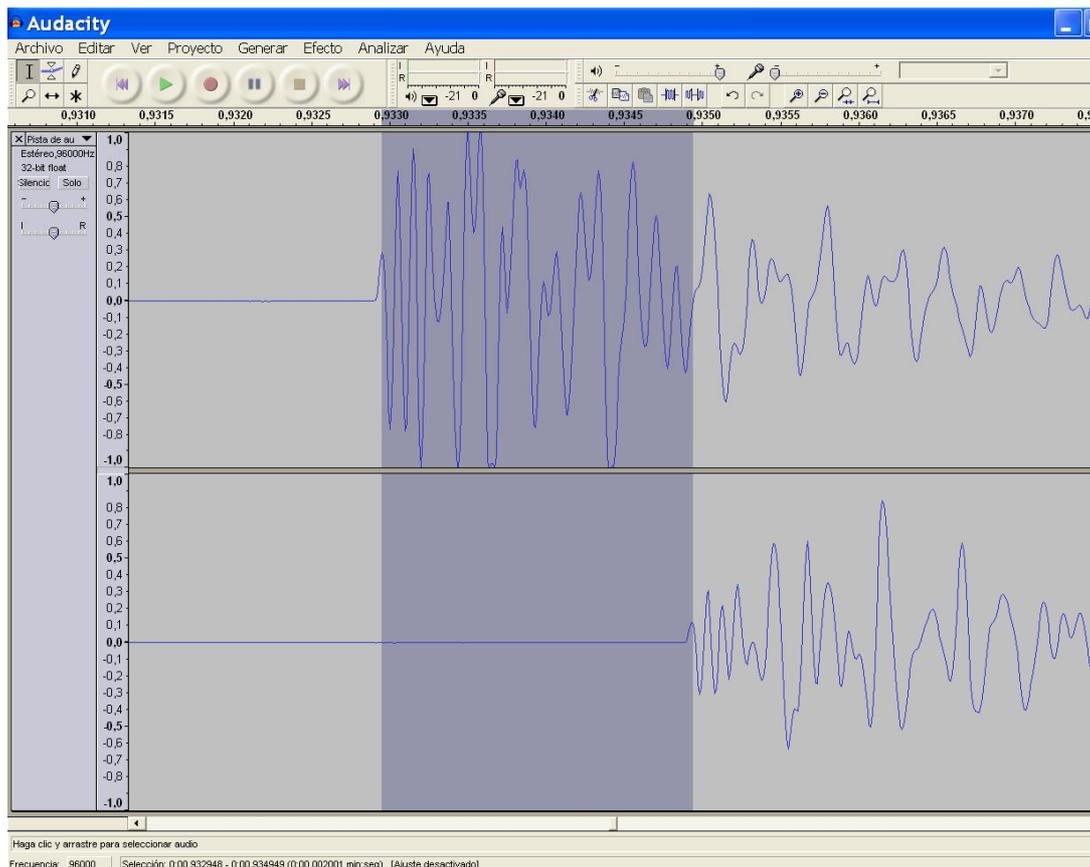


Fig. 17 Medida del desfase entre las dos ondas

Este método es más fácil de entender que el anterior, por lo que es más adecuado para un nivel de 3º de ESO. Sin embargo, tiene el inconveniente de que es necesaria una tarjeta de sonido que no es tan accesible. La tarjeta es necesaria porque el ordenador debe registrar datos de dos micrófonos y lo habitual es que un ordenador no tenga dos canales de entrada de este tipo.

Hay algunas recomendaciones que pueden ayudar a que la medida sea más precisa. En primer lugar, hay que tener en cuenta cómo vamos a generar la onda sonora cuya velocidad vamos a medir. Puede ser un silbido, una palmada, un golpe entre dos objetos,... Se recomienda el golpeo de dos objetos metálicos. Pueden servir objetos cotidianos como martillos o destornilladores. El motivo es que es más fácil medir el desfase de dos ondas con forma de impulso que el de otras formas de onda. Y el sonido que se produce tras el choque de dos objetos metálicos es bastante impulsivo. Mucho más que el producido al dar palmadas o silbando.

La segunda recomendación está relacionada con la frecuencia de muestreo de Audacity. En las experiencias tratadas anteriormente no se le había dado importancia a este aspecto, pero ahora necesitamos medir con precisión. Hay que tener en cuenta que colocando los micrófonos a un metro de distancia entre sí, el tiempo que tardará la onda sonora en recorrer esa distancia será inferior a 3ms, por lo que una frecuencia de muestreo demasiado baja puede arruinar el experimento. En esta ocasión se optó por emplear la frecuencia de muestreo más alta que proporciona Audacity, 384kHz. Es cierto que con elevadas frecuencias de muestreo el ordenador necesitará más espacio para almacenar los datos, pero en este caso, al ser un experimento de duración tan corta y en el que la precisión en las medidas es importante, merece la pena.

La última recomendación con el objetivo de reducir posibles fuentes de error es que los dos micrófonos y el punto en el que se produce el golpe deben estar lo mejor alineados posible. Si no están alineados, la distancia que se ha medido entre micrófonos no es la misma que la distancia que ha recorrido la onda durante el tiempo de desfase, por lo que se cometerá un error. En el taller de sonido se pidió a un alumno voluntario que diera el golpe. Hay que dejarle claro este punto. Por otro lado, es importante que el resto de alumnos permanezcan en silencio durante la grabación, para que no haya superposiciones de ondas en las medidas.

El resultado del experimento difícilmente va a ser 340m/s exactos. Aparte de los errores que se introducen en las medidas, hay que tener en cuenta que la velocidad del sonido en el aire depende de la temperatura y de la humedad. En particular, la velocidad será mayor cuanto mayores sean la temperatura y la humedad del aire. Teniendo en cuenta que el taller de sonido se lleva a cabo en una sala con decenas de personas, es lógico que la velocidad del sonido medida en esa sala sea algo mayor que 340m/s.

Aunque el experimento no se llevó a cabo con todos los grupos, debido a la escasez de tiempo, sí que se realizó con éxito con dos de ellos. A continuación se muestran los resultados de uno de ellos. El tratamiento de errores no se hizo en detalle durante la exposición. Se les indicó a los estudiantes que las medidas de longitud y tiempo que se tomaron podían tener pequeños errores de precisión debido a los instrumentos de medida. Ese pequeño error lleva inevitablemente a que el resultado final no sea el que se corresponde exactamente con el valor real, pero que sí estará muy próximo al mismo. Se podría profundizar más en el tema de errores en las medidas en cursos más avanzados, incluso en 3º de ESO en caso de disponer de más tiempo, pero no es el objetivo principal del taller de sonido.

$$v=s/t$$

$$\Delta v= [d(s/t)/ds] \Delta s +[d(s/t)/dt] \Delta t$$

$$\Delta v= 1/t \Delta s + s/t^2 \Delta t$$

$$\Delta v=4m/s$$

Tabla 3

Distancia entre micrófonos
(±5mm) Tiempo (±0,00002s) Velocidad (±4m/s)

1000	0,00286	350
------	---------	-----

Tras buscar en la bibliografía el valor teórico de la velocidad del sonido para compararlo con el medido, encontramos la siguiente fórmula:

$$v=331,4 + 0,6T \text{ (https://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/sound/souspe3.html#c1)}$$

El valor teórico (346,4m/s) coincide con el resultado del experimento, dentro de los márgenes de error.

Experiencia 7: Resonancia

El taller de sonido acaba con un concepto nuevo para muchos alumnos: el fenómeno de resonancia. Esta experiencia está dividida en cinco pasos, incrementando el nivel de dificultad de comprensión progresivamente. Los materiales necesarios para la consecución de esta experiencia son los siguientes:

- 2 diapasones de la misma frecuencia.
- 2 cajas de resonancia.
- Un macillo.
- Una pelota de ping pong atada a un hilo.
- Un soporte para la pelota.

Estos materiales, al contrario que la mayoría de los empleados en experiencias anteriores, no son caseros, aunque existe la posibilidad de que el departamento de música del centro disponga de ellos.

Para la primera parte de la experiencia basta con uno de los diapasones y el macillo. Es importante conseguir que haya silencio en la sala. Tras dar un golpe con el macillo al diapasón, los alumnos deben escuchar el sonido producido por éste último. La intensidad del sonido es relativamente débil.

Conviene introducir en este momento el concepto de frecuencia natural. Independientemente de si golpeamos el diapasón un poco más fuerte o un poco más suave, el tono que escuchemos será el mismo. Cada objeto tiene su frecuencia natural, que depende de su geometría y del material de que está compuesto. No importa si estamos hablando de la percha de la experiencia 3, de un bolígrafo o del diapasón. Cada uno tiene su frecuencia natural, que es la frecuencia a la que oscila tras recibir un golpe.

En el caso del diapasón empleado en esta experiencia su frecuencia natural es de 440Hz. Es por eso que, al golpearlo, escuchamos siempre el mismo tono, la nota *la*, correspondiente a 440Hz. Y es que el diapasón ha sido diseñado para que vibre precisamente a esa frecuencia. El material de fabricación y sus dimensiones o han sido escogidos al azar. Es por esto que los músicos emplean el diapasón para afinar sus instrumentos, ya que siempre emite la misma nota.

Esta explicación podría complementarse grabando y visualizando con Audacity la onda producida al vibrar el diapasón. No se hizo en este taller de sonido, por falta de tiempo, pero habría sido interesante comprobarlo.

Para la segunda parte de la experiencia se añade una de las cajas de resonancia. Al ser alumnos de 3º, no se profundizó en exceso en el funcionamiento de estas cajas. Se señaló que servían para amplificar el sonido del diapasón. Y que esto era posible gracias a su geometría. Para amplificar la onda de 440Hz producida por el diapasón no sirve cualquier caja. Debe ser una con unas dimensiones determinadas, precisamente las de la caja que se les está mostrando.

Se acopla el diapasón a la caja de resonancia y se golpea otra vez con el macillo. Los alumnos comprueban que escuchan la misma nota, pero que la intensidad del sonido que perciben ahora es mucho más fuerte que la que percibían sin caja de resonancia.

Se comprueba que, tras golpear el diapasón, si se apoya la mano sobre el mismo, se deja de percibir el sonido. Esto es debido a que la mano impide la vibración del diapasón, y por tanto, la caja de resonancia no tiene una onda que pueda amplificar. De esta manera se comprueba también que la caja de resonancia no emite sonidos por sí sola.

La tercera parte de la experiencia necesita los dos diapasones y las dos cajas de resonancia además del macillo para su ejecución. Se pretende observar el proceso inverso que hemos visto hasta ahora. Los alumnos han comprobado que, al golpear un objeto, en este caso el diapasón, éste vibra. Como consecuencia de las oscilaciones del objeto, el aire que lo rodea también vibra. Y la percepción de esas vibraciones del aire es lo que denominamos sonido. Lo que van a ver a continuación es que un objeto puede vibrar como consecuencia de que el aire que lo rodea vibra.

Se ajustan los diapasones sobre las cajas de resonancia y se colocan éstas una frente a la otra, sin tocarse. De forma que los extremos abiertos de ambas cajas queden enfrentados. Se golpea el primer diapasón con el macillo y, se apoya la mano sobre el mismo. Los alumnos quedan sorprendidos de que siguen escuchando el sonido de un diapasón. Pero es el segundo diapasón el que emite ese sonido. Porque la mano impide la vibración del primero.

La cuarta parte de la experiencia sirve precisamente para ilustrar esto. Con el mismo montaje que en la tercera, se añade la pelota de ping pong colgada del soporte a través del hilo. La pelota debe estar en contacto con el segundo diapasón.

Tras golpear el primer diapasón con el macillo, se ve cómo la pelota oscila, además de oír como vibra el segundo diapasón. Se puede también apoyar la mano sobre el primer diapasón para frenarlo, las oscilaciones de la pelota sombran a los estudiantes.

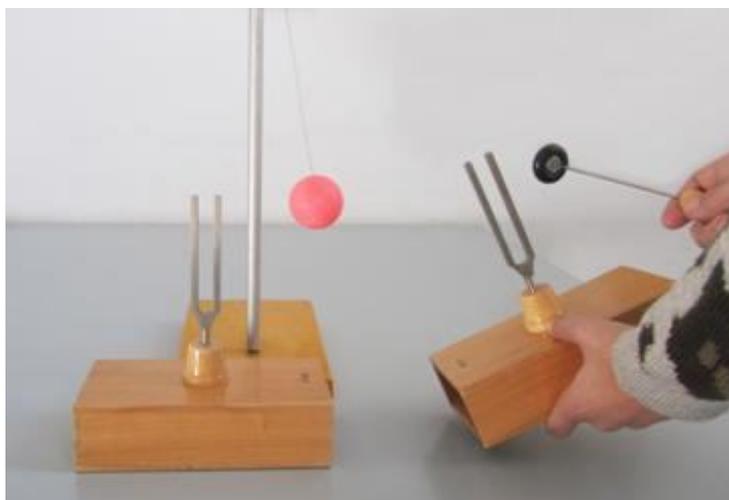


Fig. 18 Montaje completo

La explicación de lo que ha ocurrido es que, la onda sonora producida al golpear el primer diapasón es la que ha excitado al segundo diapasón y ha provocado que éste vibre. Hay que hacer notar que las cajas de resonancia no están en contacto entre sí, por lo que es la onda sonora que se propaga a través del aire la que induce las vibraciones del segundo diapasón. Es decir, que a causa de ser excitado por una onda sonora, un objeto puede vibrar.

Éste fenómeno ya lo han vivido antes los alumnos. Basta recordarles que, a veces, la ventana de una vivienda se pone a vibrar si un camión circula por la calle. Es el mismo razonamiento

que en el caso de los dos diapasones. La onda sonora producida por el camión excita a la ventana, que se pone a vibrar.

Sin embargo, no siempre que pasa un camión vibra la ventana. De la misma manera que el segundo diapasón no vibra al ser excitado con cualquier onda sonora, por ejemplo, la producida al hablar. La clave de todo esto es que vemos vibrar la ventana precisamente cuando ha sido excitada con una onda de frecuencia igual a la frecuencia natural de la ventana. En el caso del diapasón está claro. La onda sonora que lo excita es de 440Hz, ya que ha sido producida por un diapasón exactamente igual. Como 440Hz es la frecuencia natural del segundo diapasón, las oscilaciones de éste producen también una onda sonora de 440Hz.

El caso de la ventana no es tan evidente. Cuando un camión acelera, produce ondas sonoras de varias frecuencias (hace un barrido). Si una de esas frecuencias coincide con la frecuencia natural de la ventana, las oscilaciones de la ventana se verán amplificadas y es entonces cuando veremos que vibra. A este fenómeno es al que llamamos resonancia. Si el camión produjera ondas sonoras de la frecuencia natural de la ventana durante un tiempo muy prolongado, las oscilaciones de la ventana se harían cada vez mayores, pudiendo incluso llegar a romper la ventana.

El caso más espectacular de resonancia es, con toda probabilidad, el del puente de Tacoma. No es difícil encontrar en Internet vídeos sobre este suceso. La quinta parte de esta experiencia consiste en ver uno de esos vídeos.⁶



Fig. 19 Ondulaciones en el puente de Tacoma

Un puente, al igual que un diapasón o una ventana, tiene su frecuencia natural. Si se excita con su frecuencia natural las oscilaciones que se producen se ven amplificadas. En el caso del puente de Tacoma, las oscilaciones producidas por el viento eran tan pronunciadas que se convirtió en una auténtica montaña rusa. El resultado final es que el puente cayó.

A modo de recomendación, es especialmente importante conseguir que haya silencio en la sala para la ejecución de esta experiencia. El sonido que se produce al golpear los diapasones es débil y unos pocos murmullos pueden arruinar la experiencia.

Tienen gran importancia también las explicaciones dadas en este tema de resonancia. Para la mayoría de alumnos es un tema totalmente nuevo y realmente tiene su complicación. Debe quedar claro que el puente no cae porque la velocidad del viento es demasiado alta, sino porque se excita en los momentos adecuados (como un columpio) para que las oscilaciones crezcan en amplitud continuamente.

⁶ Se puede ver en <https://www.youtube.com/watch?v=SzObC64E2Ag>

Implementación

Contexto

Esta experiencia se ha realizado en el instituto Biurdana BHI, un centro público de educación secundaria en el que se imparten la ESO y el Bachillerato en el modelo D (todo en euskera). Situado en el barrio pamplonés de San Jorge, acoge, sobre todo, a alumnos procedentes de los centros de primaria Amaiur, Patxi Larrainzar y Sanduzelai de Pamplona, así como los de Auzalar, de Orcoyen, Atakondoa, de Irurzun, y Larraun, de Lecumberri. Durante el curso 2016-2017 tenía un total de 747 alumnos.



Fig. 20 Vista general de Biurdana BHI

Tradicionalmente, se viene celebrando en el centro la Semana de la Cultura, en el transcurso de la cual se desarrollan varias actividades que fomentan la cultura entre la comunidad escolar. Charlas con escritores, lectura colectiva y concursos de cortometrajes son algunas de las actividades organizadas durante esos días.

Los departamentos de ciencias han intentado organizar sus propias actividades con el objetivo de promocionar la ciencia entre los estudiantes, aprovechando el empuje de la Semana de la Cultura. Tal es el caso de la gimkana organizada por el departamento de biología-geología o del taller de ilusiones ópticas organizado por los alumnos de ciencias de 1º de Bachillerato para el curso 2016-2017.

El departamento de Física y Química no tenía nada preparado para esa semana en el momento en que inicié mi estancia en el centro con motivo de la asignatura Practicum II. A ello se une la preocupación de los miembros del departamento debido a los malos resultados obtenidos por los alumnos del instituto en el último informe PISA en el apartado de interés por la ciencia. Si bien es cierto que la muestra en dicho estudio no era significativa, no estaban dispuestos a que se repitiera. En este contexto nació la idea de organizar un taller de sonido.

Se pensó que podía estar dirigido a estudiantes de 3º de ESO por varias razones. Tras las vacaciones de Semana Santa, y con unas pocas semanas por delante antes de terminar el curso, deben tomar la decisión de qué itinerario han de seguir el año que viene (ciencias o letras). La situación de los alumnos de este nivel en este curso en particular es algo especial.

Comenzaron la ESO con un plan de estudios que, al pasar de 2º a 3º, cambió. Con la entrada en vigor de la LOMCE, se prevé que los alumnos estudien 3 horas de física-química semanales cuando están en 2º y 2 horas semanales cuando están en 3º. Pero este curso académico, aunque está siguiendo el currículum de la LOMCE en 3º, no tuvo asignatura de física-química en 2º porque el plan de estudios era otro.

Se da la circunstancia de que el currículum de física-química de 3º está muy centrado en el bloque de química. Sólo hay un tema (energía) del bloque de física a lo largo de todo el curso. Esto es, van a tomar la decisión del itinerario que van a seguir el curso que viene, y posiblemente del resto de sus vidas académicas, sin apenas haber estudiado nada de física.

Se consideró que podía ser un buen momento para mostrarles algo de física, que pudiera ayudarles a tener una idea de lo que se pueden encontrar los que escojan el recorrido científico. Se decidió que el tema a tratar en el taller sería el del sonido porque ya habían estudiado los aspectos más básicos de este tema en la asignatura de ciencias naturales de 2º.

El taller se llevó a cabo en horario lectivo, con una duración de 55 minutos para cada uno de los siete grupos de 18-23 alumnos, aprovechando una de las sesiones de clase de física-química. Sin embargo, no se desarrolló en las aulas, sino en el laboratorio de física y química del instituto.

Evaluación

Tras la finalizar el taller de sonido con todos los grupos, llega el momento de evaluar los resultados. A continuación se valoran los resultados obtenidos en los cuestionarios que se realizaron a los alumnos antes y después de asistir al taller. Sigue una evaluación más personal en cuanto al trabajo realizado y a aspectos a mejorar para futuros talleres de este estilo.

Evaluación alumnos

Comenzamos con la evaluación de los alumnos. A los alumnos de dos de los grupos que asistieron al taller se les hizo rellenar un cuestionario antes de las vacaciones de Semana Santa en el que aparecían tres preguntas, a contestar en unos pocos minutos:

- 1) ¿Te parece interesante estudiar ciencias? ¿Por qué?
- 2) Cuando un instrumento toca dos notas, ¿por qué se escuchan diferente?
- 3) Si un piano y una trompeta tocan la misma nota, ¿por qué se escuchan diferente?

El taller de sonido se llevó a cabo después de las vacaciones de Semana Santa. Entre una y dos semanas después de haber asistido al taller, se les volvió a realizar el mismo cuestionario, al que se añadieron dos preguntas más:

- 4) ¿Qué es lo que más te gustó del taller de sonido?
- 5) ¿Y lo que menos?

Ambos cuestionarios eran anónimos y fueron contestados por 39 estudiantes de 3º de ESO. Todos ellos acudieron al taller aunque no necesariamente de principio a fin. Al celebrarse el taller durante la Semana de la Cultura del instituto, coincidió en fechas con otras actividades, por lo que algunos de los alumnos se perdieron los primeros minutos del taller de sonido. Sin embargo, los 39 estudiantes asistieron a la mayor parte del taller.

Un aspecto a tener en cuenta es que el primer cuestionario fue una sorpresa para todos los alumnos encuestados. En ese momento no sabían que a la vuelta de las vacaciones iban a asistir a un taller de sonido. Ni estaban trabajando ese tema en clase. Tampoco lo habían trabajado durante el curso. Todo lo que habían estudiado acerca del sonido había sido un año antes, en la asignatura de ciencias naturales de 2º. Por lo que las respuestas a estas preguntas pueden considerarse un indicador fiable de los conocimientos básicos sobre este tema, así como de sus ideas preconcebidas erróneas.

De la misma manera, tampoco trabajaron el tema en clase después del taller. Así que el segundo cuestionario lo completaron tras haber trabajado el tema del sonido durante 55 minutos el último año. Por este motivo, las respuestas son indicadoras de la influencia del taller en sus conocimientos.

Analizando con detalle cada una de las respuestas a las preguntas realizadas se han obtenido los resultados que se muestran a continuación. El primer aspecto que se evalúa en los cuestionarios es la motivación del alumnado de cara a estudiar ciencias. Para ello, se hizo la siguiente pregunta en los dos cuestionarios:

- 1) ¿Te parece interesante estudiar ciencias? ¿Por qué?

Es una pregunta muy directa, más aún teniendo en cuenta que viene de un profesor de ciencias, aunque el anonimato estaba garantizado. Las preguntas se han agrupado en dos bloques, "sí" y "no".

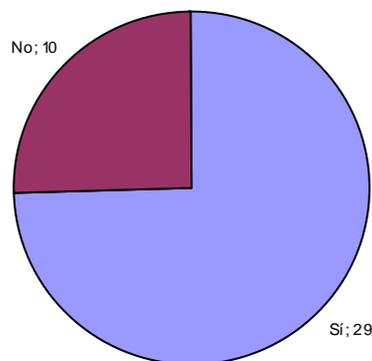


Fig. 21 ¿Te parece interesante estudiar ciencias? (Antes del taller)

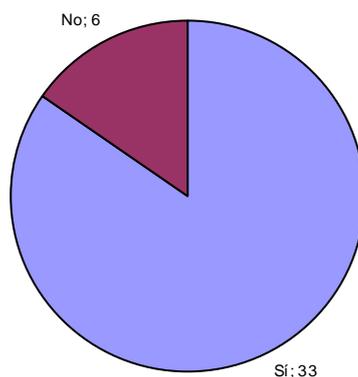


Fig. 22 ¿Te parece interesante estudiar ciencias? (Después del taller)

Antes del desarrollo del taller, 10 alumnos reconocieron no tener interés por estudiar ciencias. Después del taller, sólo 6 de ellos lo hicieron. (La misma variación resulta en las respuestas afirmativas, que pasa de 29 a 33.) El cambio, aunque pequeño, es positivo desde el punto de vista de los objetivos propuestos antes del taller. Aunque tal vez sea más interesante analizar los porqués de estas respuestas.

Los distintos motivos por los que los alumnos dicen tener interés por estudiar ciencias se han agrupado en el siguiente gráfico.

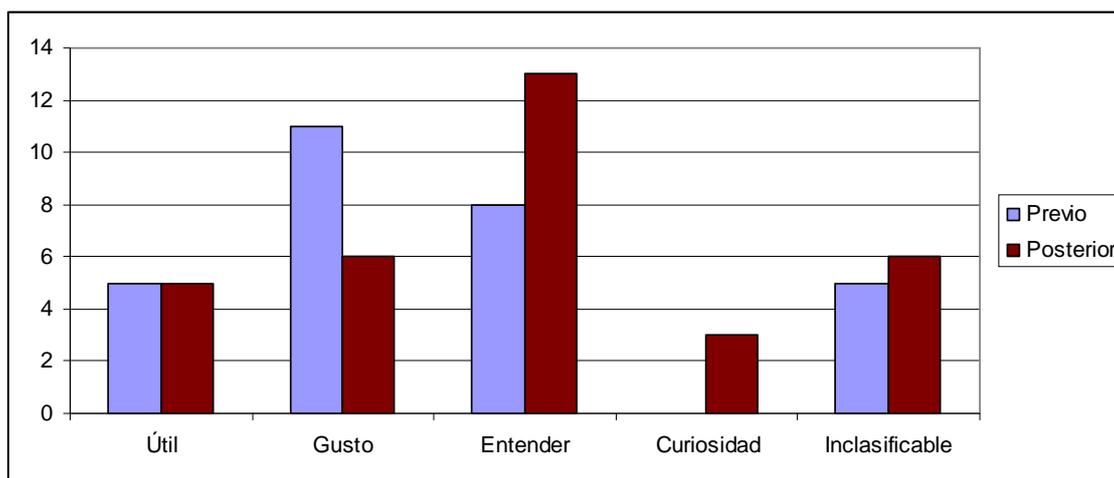


Fig. 23 ¿Por qué te parece interesante estudiar ciencias?

Al ser una pregunta abierta, las respuestas son distintas entre sí, por lo que para la elaboración de este texto se han agrupado en varias categorías. Es posible que un alumno tuviera varias razones para contestar a la pregunta "¿por qué?", de forma que si da una sola razón, entiendo que es la más significativa.

En un primer bloque (útil) se han agrupado todas las respuestas que consideran interesante estudiar ciencias por su carácter más práctico o tecnológico. Se han incluido aquí respuestas del tipo *"es interesante estudiar ciencias porque sirven para que la tecnología mejore"* o *"porque me sirven para poder estudiar medicina en el futuro"*. Tanto antes como después del taller hay 5 alumnos que contestan algo de este estilo.

Hay un grupo de alumnos que simplemente contesta que le gusta estudiar ciencias. Aunque algunos de ellos indicaban que les parecía interesante estudiar ciencias con el argumento de que *"me gustan más que las otras asignaturas"*. Este tipo de respuestas son las que se han agrupado en la segunda categoría (gusto).

El tercer grupo de respuestas (entender) engloba a aquellos alumnos que dicen tener interés en estudiar ciencias porque *"sirven para entender el mundo que nos rodea"*. En esta categoría se incluyen también respuestas tales como *"porque enseñan a conocer cosas"* o *"porque quiero aprender cosas relacionadas con el medio ambiente"*.

En algunos casos no ha sido fácil distinguir entre las categorías de "gusto" y "entender". Las respuestas del tipo *"porque me gusta aprender..."* se han incluido en esta última categoría, mientras que se ha reservado la categoría "gusto" para aquellas respuestas que no especificaban nada relacionado con adquirir nuevos conocimientos.

Estas dos categorías podían haberse agrupado en una sola. Muchas veces no está claro si el gusto del alumno es por la ciencia en sí o por conocer cosas nuevas. La relación es muy estrecha y es difícil definir una frontera con nitidez. Si se agruparan las dos categorías, tendríamos el mismo número de alumnos antes y después del taller con el mismo tipo de respuesta.

Después de la visita al taller, aparece una nueva respuesta: son alumnos que muestran interés en estudiar ciencias *"por curiosidad"*. Aunque solamente haya tres respuestas de este tipo, la influencia de las experiencias llevadas a cabo en el taller es probable.

La última categoría incluye todas las demás respuestas que no se han podido clasificar en alguna de las categorías anteriores. Básicamente son respuestas del tipo *“me parece interesante estudiar ciencias porque es interesante”* o similares.

Entre los alumnos que dicen no tener interés en estudiar ciencias la mayor parte de respuestas aluden a que es aburrido, difícil o las dos a la vez.

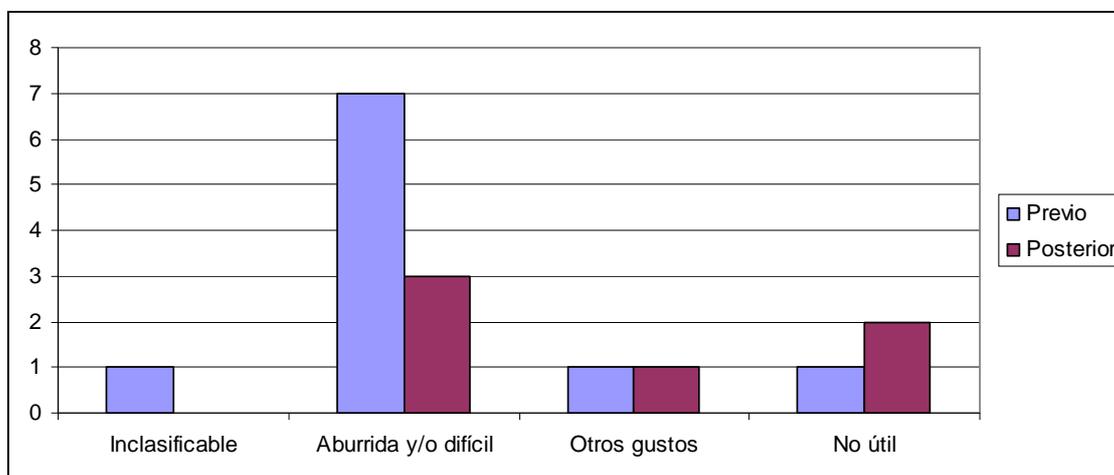


Fig. 24 ¿Por qué no te parece interesante estudiar ciencias?

Unos pocos alumnos dicen que no les interesa porque hay *“otras asignaturas que me gustan más”* o porque *“no me sirven para lo que quiero estudiar en el futuro”*.

Llama la atención el descenso de alumnos que consideraba la ciencia aburrida y/o difícil antes del taller con respecto a los resultados posteriores (de 7 a 3).

La mayor diferencia que se puede apreciar en los resultados está en la cantidad de respuestas que indican que les gusta la ciencia y las que de alguna manera quieren entender el mundo que les rodea. Parece que haya un trasvase de estudiantes de una a la otra antes y después del taller. No obstante, dado que la distinción entre las dos categorías no siempre es clara, si se agruparan en una sola, no se apreciarían diferencias debidas al taller.

Mientras que no hay diferencias significativas en las demás categorías, sí que llama la atención que 3 alumnos contestaran que sentían curiosidad por estudiar ciencias después del taller, cuando ninguno lo había hecho antes. Es posible que estas respuestas estén influidas por las experiencias contenidas en el taller. Si es así, sería muy positivo desde el punto de vista del objetivo de motivación que nos habíamos propuesto. Más aún si se tiene en cuenta que el incremento de respuestas en esta categoría no es consecuencia de un descenso en otras razones por las que muestran interés por la ciencia, sino por un descenso en el número de alumnos que dijo no tener interés por la ciencia antes del taller.

Las otras dos preguntas del primer cuestionario sirven para evaluar si los estudiantes han aprendido algo gracias al taller de sonido:

- 2) Cuando un instrumento toca dos notas, ¿por qué se escuchan diferente?
- 3) Si un piano y una trompeta tocan la misma nota, ¿por qué se escuchan diferente?

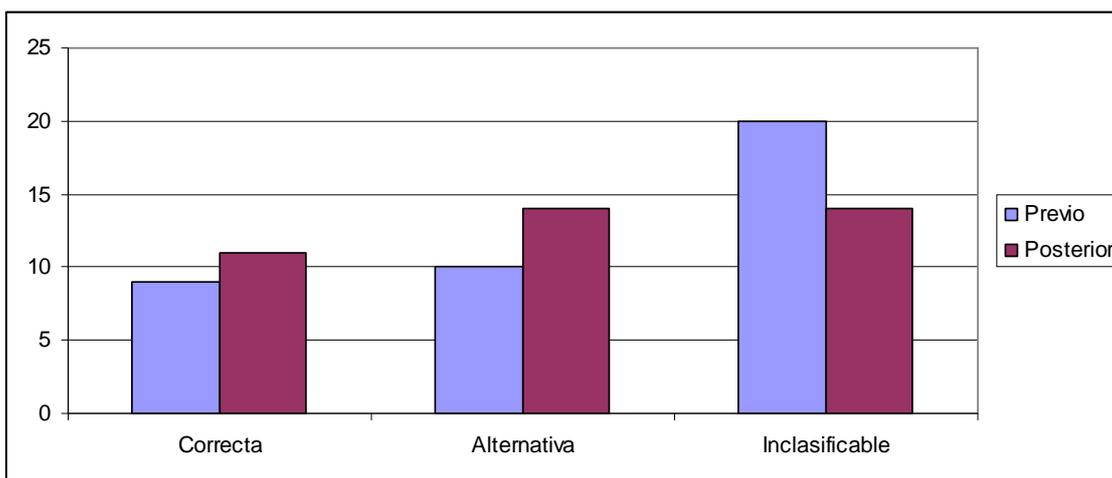


Fig. 25 Cuando un instrumento toca dos notas, ¿por qué se escuchan diferente?

Cuando un instrumento toca dos notas, la diferencia entre esas notas es el tono o frecuencia de vibración. Esa es la respuesta correcta, que indicaron 9 alumnos antes del taller de sonido. Después del taller, fueron 11.

Las respuestas alternativas, aunque se han englobado en un mismo bloque, son muy distintas entre sí. Hay alumnos que aluden a una cuestión más mecánica (hablan del recorrido que hace el aire en uno y otro caso) mientras que otros citan, de una u otra manera, la intensidad y el timbre. El incremento de respuestas alternativas de un cuestionario a otro se debe posiblemente a la confusión entre tono y timbre.

En el bloque de respuestas inclasificables se incluyen las de tipo "porque suenan diferente" o similares, además de los estudiantes que reconocen no saber o no contestan.

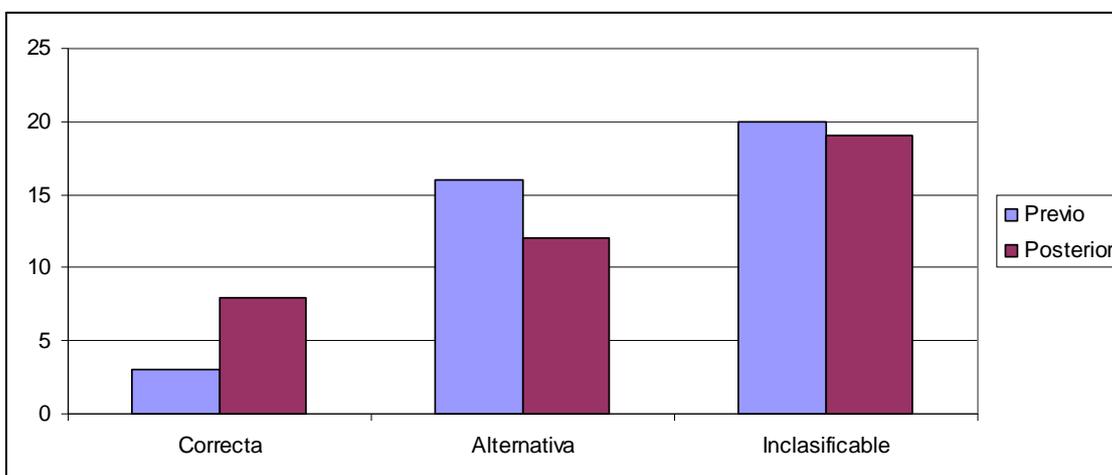


Fig. 26 Si un piano y una trompeta tocan la misma nota, ¿por qué se escuchan diferente?

Cuando dos instrumentos tocan la misma nota la frecuencia es la misma, pero es el timbre lo que cambia. Así lo hicieron notar 3 alumnos antes del taller y 8 después. Este incremento está relacionado con descenso de respuestas alternativas.

Entre las respuestas alternativas vuelven a aparecer las relacionadas con el recorrido del aire y las que confunden tono con timbre.

Llama la atención el número de respuestas inclasificables y el hecho de que no haya variación entre los resultados previos y posteriores al taller. En este bloque, la respuesta más frecuente

es que "las ondas son diferentes". También se incluyen aquí las respuestas de los que dicen no saber o no contestan.

Las dos últimas preguntas deben servir para evaluar el taller y a mí mismo:

4) ¿Qué es lo que más te gustó del taller de sonido?

5) ¿Y lo que menos?

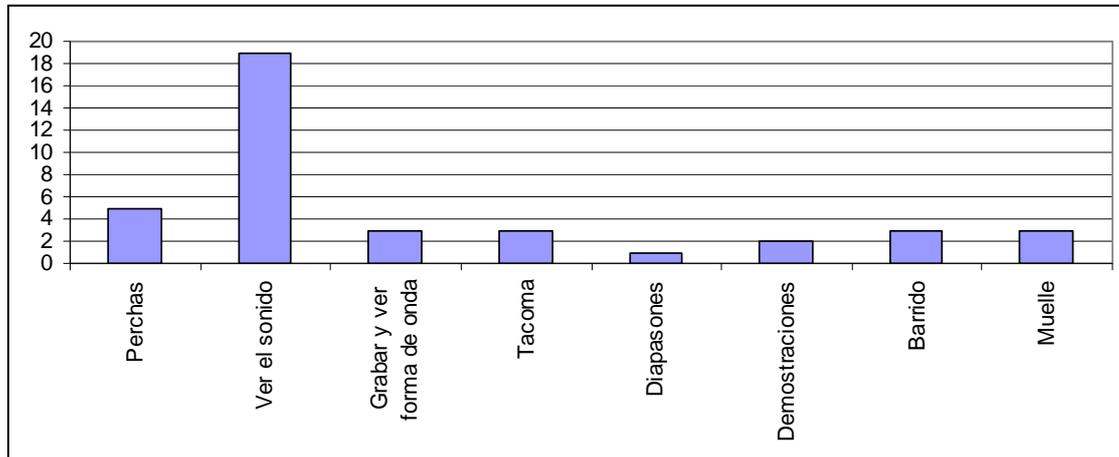


Fig. 27 ¿Qué es lo que más te gustó del taller de sonido?

Sin ninguna duda, la experiencia que más ha gustado a los alumnos es la de ver el sonido. Lo mejor de todo es que para expresar que era ésta la experiencia que más les había gustado, algunos alumnos hicieron el esfuerzo de explicar cómo funcionaba (el globo vibra, se mueve el espejo y vemos el reflejo del láser en movimiento en el techo) con bastante precisión. Y eso que no se les pedía.

El experimento de las perchas también tuvo buena aceptación. A 5 de los estudiantes fue el que más les gustó.

Llama la atención la respuesta de 2 de los alumnos. La que está reflejada en la categoría "demostraciones". Estos alumnos dijeron que lo que más les gustó fue el hecho de que todas las explicaciones se pudieran *demostrar* de alguna manera o que se pudiera poner en práctica un resultado teórico. Da la sensación de que estos alumnos no se quisieron quedar con meras anécdotas o curiosidades, sino que su interés va más allá.

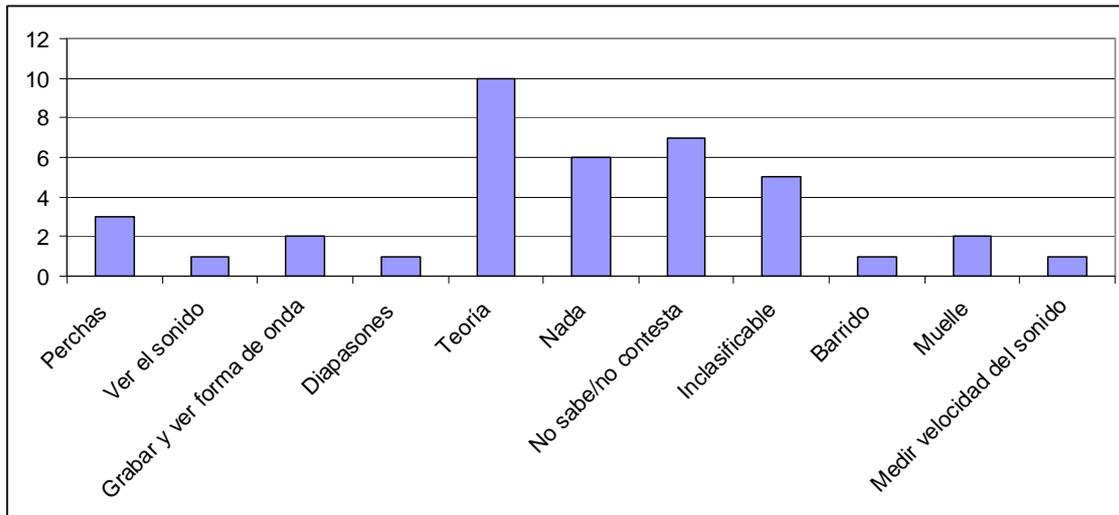


Fig. 28 ¿Qué es lo que menos te gustó del taller de sonido?

En cuanto a lo que menos les gustó, no hay ninguna experiencia en particular que destaque claramente por encima del resto. La peor parada sale la teoría. Algunos de los alumnos especificaban que lo que menos les gustó era la teoría relativa a las propiedades de las ondas del principio de la sesión. Otros, que la relativa al oído humano.

Lo más satisfactorio del último gráfico es que hay un número muy grande de alumnos que dicen que les gustó todo, a los que se podría añadir aquéllos que dicen no saber qué es lo que menos les gustó o no contestan.

Por último hay un número considerable (5) de respuestas inclasificables, por inconcretas. *“No me gustó lo del sonido”* o *“no me gustó lo de las ondas”* son algunas de ellas.

Evaluación personal

Personalmente, estoy contento con el trabajo realizado durante la elaboración del taller de sonido. Creo que ha servido para motivar a los alumnos y para que aprendan cosas nuevas. Así me lo transmitieron tanto alumnos como profesores. Pero no son los únicos. También a mí me ha servido como motivación y aprendizaje.

Llevar a cabo el mismo taller siete veces en pocos días puede hacerse repetitivo, pero creo que también sirve para aprender de los errores y mejorar para la siguiente sesión.

Conclusiones

Se ha diseñado, implementado y evaluado un taller sobre el sonido con las siguientes experiencias:

- Experiencia 1: Ondas con un muelle.
- Experiencia 2: Características de las ondas con el editor de sonido Audacity.
- Experiencia 3: Propagación del sonido en medio sólido.
- Experiencia 4: Ver el sonido.
- Experiencia 5: Rango audible.
- Experiencia 6: Medida de la velocidad del sonido en aire.
- Experiencia 7: Resonancia.

El taller se llevó a cabo en el contexto de la Semana de la Ciencia con alumnos de 3º de la ESO.

En vista de los resultados obtenidos, se pueden sacar las siguientes conclusiones:

En la encuesta se constata que el efecto del taller en la motivación de los alumnos es positivo. Hay un incremento del número de alumnos que dice estar interesado en estudiar ciencias con respecto al número anterior al taller.

Respecto a las preguntas teóricas realizadas al alumnado, no hay grandes diferencias entre las respuestas correctas obtenidas antes y después del taller. En particular, es común la confusión entre los conceptos de tono y timbre. Sería conveniente complementar el taller con sesiones de teoría y problemas.

La experiencia que más éxito tuvo fue la de ver el sonido, destacando claramente por encima del resto.

La parte que menos gustó fueron las explicaciones teóricas que, por otro lado, son necesarias para aprender de las experiencias. Aunque, en parte, es comprensible dado el contexto no formal de la actividad.

Posibles mejoras

En general, se nota un pequeño incremento de respuestas correctas que se puede achacar al taller. Seguramente, el incremento sería mayor si se hubieran trabajado los mismos contenidos del taller en clase durante los días previos y/o posteriores al taller, pero parece que la influencia del taller es positiva.

Respecto a la confusión, bastante generalizada, entre tono y timbre, se puede entender de la siguiente manera: durante el taller se vieron muchos conceptos en poco tiempo. Algunos de ellos eran conocidos por los alumnos, otros, también conocidos pero más lejanos, y otros completamente nuevos. Los conceptos de tono y timbre pudieron pasar desapercibidos entre tantos estímulos nuevos.

No es razonable esperar que interioricen todos esos conceptos sólo con una sesión, a la que acudieron sin ninguna obligación de tomar apuntes y estudiar. El segundo cuestionario se les hizo entre una y dos semanas después del taller. No fue inmediatamente después, por lo que también es natural que se olviden algunas cuestiones si no se trabajan en el día a día, aunque es indicativo del poso que ha dejado.

Sería más adecuado implementar el taller con alumnos que estén trabajando los temas de ondas y sonido durante los días previos y posteriores al mismo. El aspecto motivador de las experiencias se ha puesto de manifiesto, pero el aprendizaje de los estudiantes sería mayor si estas experiencias se complementaran con sesiones de teoría y problemas.

La parte del taller que menos gustó al alumnado fue la teoría. Es posible que simplemente sea porque están acostumbrados a recibir clases teóricas y la novedad de experimentar les guste, por lo que lo que menos les gustó del taller fue precisamente la parte que recuerda más a las clases que tienen rutinariamente. Sin embargo, hay que plantearse algunas cuestiones.

La teoría de ondas que se dio al principio era necesaria para poder comprender varios de los conceptos que se querían poner en práctica durante el taller. Tal vez la conocían del año pasado y se les hizo repetitivo, pero creo que aún así era conveniente recordarla. Una posibilidad para futuros talleres podría ser jugar un poco con el muelle antes de empezar con la teoría, de forma que los alumnos se enganchen desde el principio con algo novedoso.

La teoría del oído humano se dio a través del proyector. Es posible que sea más asimilable para los alumnos si se emplea una maqueta en su lugar. Habrá que probarlo en futuros talleres.

De todas formas, el taller no puede consistir en pequeñas experiencias sin ninguna conexión entre sí y sin explicaciones de ningún tipo. El objetivo no es tener una hora de diversión, sino que además de la diversión que pueda haber, se aprenda algo.

Me queda la espina clavada de la medición de la velocidad del sonido. Fue la experiencia que más se resintió por la falta de tiempo, sólo se llevó a cabo en dos de los siete grupos. Y es la que mayor rigor científico requiere. Hay que medir distancias con precisión, conseguir silencio, lograr que el sonido que llega a los micrófonos sea lo más impulsivo posible... Pero hay más. Hay que decidir en qué punto podemos considerar que ha llegado la onda al micrófono. Tener en cuenta posibles errores en las mediciones, las variaciones de la velocidad con la temperatura y humedad... No va a salir el resultado exacto esperado por los estudiantes. Y creo que eso es positivo porque sirve para aprender cómo se hace ciencia en el mundo real, en el que no se pueden controlar al 100% todas las variables.

Para poder medir la velocidad del sonido en el tiempo estipulado, habría sido necesario prescindir de alguna de las otras experiencias. No obstante, pienso que conviene ser ambicioso en la preparación en este tipo de talleres y dejar alguna experiencia de lado si el tiempo apremia en lugar de preparar menos experiencias para asegurarse de que todas van a tener cabida.

Bibliografía

Libros

Morentin, M. y Guisasola, J. *Centros de ciencia y visitas escolares*. Ed. Académica Española (2012).

Perelman, Y. *Problemas y experimentos recreativos*. Ed. Mir Moscú (1983).

Pinto, G. y Martín, M. *Enseñanza y divulgación de la Química y la Física*. Ed. Garceta (2012).

Artículos y capítulos

Aguirre, C. y Vázquez, A. M. Consideraciones generales sobre la alfabetización científica en los museos de la ciencia como espacios educativos no formales. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias* (2004).

Carretero, M. B. y Sánchez, M. A. *Talleres para celebrar la semana de la ciencia*. *Revista Eureka sobre la Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* (2008).

Cros, A. y Ferrer-Roca, C. *Física por un tubo. Mide la velocidad del sonido en el aire y diviértete con los tubos sonoros*. *Revista Eureka sobre la Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* (2011).

García, M. y Michel, B. La ciencia en nuestras manos. Una perspectiva de los talleres de divulgación sin el color de rosa. *Revista Eureka sobre la Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* (2014).

García-Molina, R. *Ciencia recreativa: un recurso didáctico para enseñar deleitando*. *Revista Eureka sobre la Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* (2011).

García-Molina, R., Piñol, N. y Abellán, J. *Se ve, se siente... el sonido está presente*. *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales* (2014).

López-García, V. *La física de los juguetes*. *Revista Eureka sobre la Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* (2004).

Lozano, O. R. y Solbes, J. ¿Divulgación o entretenimiento? Ciencia recreativa en los espacios televisivos. En Díaz, J. y Gaona, C. *Creatividad e innovación en el espacio universitario*. Ed. Acción Cultural y Científica Iberoamericana (2014).

Varela, M. P. y Martínez, J. M. *"Jugando" a divulgar la física con juguetes*. *Revista Eureka sobre la Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* (2005).

Páginas web

<https://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/sound/souspe3.html#c1> (febrero 2017)

<https://www.youtube.com/watch?v=SzObC64E2Ag> (abril 2017)

www.sc.ehu.eus (febrero 2017)

www.museovirtual.csic.com (febrero 2017)

www.naukas.com (febrero 2017)

www.recuerdosdepandora.com (febrero 2017)