

FÍSICA Y MÚSICA CON COPAS Y BOTELLAS: UNA COLABORACIÓN INTERDISCIPLINAR SOBRE ASPECTOS CIENTÍFICOS DE LOS SONIDOS MUSICALES A TRAVÉS DE UNA EXPERIENCIA DE CIENCIA RECREATIVA.

AUTORAS: M^a Luisa Valderas Martínez y Delia Ángeles García Liarte.

- 1) Introducción.**
- 2) Objetivos planteados con la experiencia.**
- 3) Objetivos y contenidos desarrollados en relación al currículo.**
- 4) Materiales.**
- 5) Software empleado y recursos de Internet.**
- 6) Desarrollo de la experiencia.**
- 7) Aplicación en el aula.**
- 8) Notas.**
- 9) Bibliografía.**

1) INTRODUCCIÓN

La creciente desmotivación y falta de interés de los alumnos de ESO hacia los contenidos de carácter científico nos lleva a los docentes a plantearnos nuevos recursos que proporcionen un cierto carácter lúdico al desarrollo de la clase. La enseñanza de la Ciencia mediante actividades de



divulgación aporta una forma más atractiva de conocer la Ciencia. La realización de

demostraciones con materiales de uso común en la vida cotidiana y que puedan encontrarse en casa contribuirá a la motivación de los alumnos y a animarlos a comprender mejor los contenidos de carácter científico y a disfrutar de esa faceta más lúdica y entretenida de la Ciencia. De estos aspectos trata este artículo cuando hace referencia a la Ciencia Recreativa¹.

Con esta comunicación se pretende mostrar una experiencia realizada en el IES Pedro Peñalver de El Algar, fruto de la colaboración entre M^a Luisa Valderas (departamento de Música) y Delia García (departamento de Física y Química). La idea original de esta colaboración surgió en el marco de un seminario sobre ondas basado en experiencias de Ciencia Recreativa realizado en el CPR de Cartagena-La Unión. La actividad se planteó conjuntamente para desarrollar contenidos comunes a las materias de Música y Física y Química relacionados con el currículo de 4º ESO. Con esta finalidad se ha recurrido a una experiencia de Ciencia Recreativa: la reproducción de una escala musical mediante la utilización de copas o botellas de cristal con diferentes niveles de agua².

2) OBJETIVOS PLANTEADOS CON LA EXPERIENCIA.

Como punto de partida se han establecido unos objetivos comunes a ambas materias:

- Constituir una aplicación didáctica que permita abordar aspectos científicos de las ondas sonoras.
- Conectar la percepción sensorial del sonido que tienen nuestros alumnos y las propiedades físicas ondulatorias.
- Motivar a los alumnos mediante una experiencia atractiva y sorprendente.
- Proporcionar una experiencia de Ciencia Recreativa que puede ser utilizada como recurso en actividades extraescolares.

3) OBJETIVOS Y CONTENIDOS DESARROLLADOS EN RELACIÓN AL CURRÍCULUM

Esta es una experiencia de Ciencia Recreativa que pretende obtener una aplicación práctica dentro del aula. En este contexto, la experiencia pretende desarrollar los siguientes objetivos y contenidos (estos últimos se destacan en cursiva):

- 1.-Comprender que el *sonido* es una onda originada por la vibración del aire.
- 2.-Registrar los sonidos producidos mediante un osciloscopio digital y aprender, de forma cualitativa, propiedades de las *ondas* como *periodo*, *frecuencia*, *amplitud* y *longitud de onda*.
- 3.-Medir la frecuencia de los sonidos producidos por una copa con diferentes niveles de agua.
- 4.-Relacionar los sonidos producidos con la cantidad de aire que vibra, diferenciando entre *sonidos agudos* y *graves* con la medida de la frecuencia.
- 5.-Producir sonidos musicales: relacionar las diferentes *notas musicales* con la frecuencia y afinar las copas para obtener una *escala musical* utilizando el contador de frecuencias.
- 6.-Interpretar melodías sencillas con las copas afinadas.

4) MATERIALES

- 7 copas de cristal tipo balón.
- Baqueta (o, en su defecto, un tapón de corcho de cabeza ancha unido a un palillo chino a modo de mango).
- Diapasón.
- Micrófono para PC.
- Ordenador portátil.
- Agua
- Colorantes para el agua (opcional).

5) SOFTWARE EMPLEADO Y RECURSOS DE INTERNET

- En esta experiencia se han empleado dos programas:

-Osciloscopio para PC (**BIP Oscilloscope 3.0**).

-Frecuencímetro (**Frequency counter**).

Estos programas se han obtenido de Internet en un formato comprimido y requieren su instalación en el ordenador. Pueden encontrarse en la dirección:

<http://www.maclasa.com/laboratorio/index.htm>

- También se han obtenido de Internet las frecuencias de las notas musicales. Estas se pueden localizar en numerosas direcciones electrónicas. Una dirección en donde estas frecuencias aparecen reflejadas con claridad es:

<http://webdelprofesor.ula.ve/ciencias/sanrey/tubos.pdf>

6) DESARROLLO DE LA EXPERIENCIA.

La experiencia se desarrolló a través de una serie de etapas que permitieron alcanzar cada uno de los objetivos.

-PRIMERA ETAPA: aplicación en el aula de Música. *Se establece una relación entre el sonido y la vibración del aire en las copas. Después se analiza el sonido obtenido comparándolo con las notas producidas por el piano y se elabora una escala musical. Se clasifican los sonidos como agudos o graves, relacionando esta característica con el volumen de aire/cantidad de agua en el interior de la copa, introduciendo el concepto de frecuencia. Se comprueba que con las copas puede interpretarse Música.*

- El primer paso consistió en la elección de las copas. Al tratarse de una experiencia de Ciencia Recreativa, se optó por copas grandes y vistosas que sonaran bien. Pero si se desea obtener una mayor variedad de sonidos, es preferible utilizar tubos de cristal.



- A continuación se procedió a afinar las copas. Con el fin de resaltar el nivel del líquido se colocó en el fondo de cada copa unas gotas de un indicador ácido-base que viraba a un color determinado en medio básico. Después se añadió agua ligeramente básica y se obtuvo una escala de colores³.

- Se colocaron las copas junto al piano y se analizó el sonido que producía una copa cuando estaba llena o cuando se encontraba vacía. De esta forma, observamos que los sonidos de las copas no podían ajustarse a la escala de Do mayor, sino que había que transportar las notas. De esta forma, la nota “DO” se asignó a la frecuencia de la quinta nota de la escala fundamental. Se etiquetaron las copas con las diferentes notas.

- El siguiente paso consistió en llenar con agua las copas hasta el nivel correspondiente a la nota asignada. La copa se hacía vibrar rozando un dedo humedecido alrededor del borde. El sonido producido se comparaba con la nota correspondiente en el piano.



- El nivel del líquido se aumentaba o reducía con la ayuda de una pipeta. A los alumnos se les mostraba la influencia del nivel del líquido en el sonido obtenido, y observaban que este sonido era tanto más agudo cuanto menor era ese nivel, mientras que al aumentar la cantidad de agua y, por tanto,

aumentar el nivel de líquido, el sonido se volvía más grave.

Una vez finalizada la afinación de las copas, y con éstas etiquetadas y alineadas, una alumna de 1º de bachillerato interpretó algunas melodías sencillas golpeando el cristal con una baqueta. Estas melodías aparecen en el apartado 7 de la presente comunicación.



-SEGUNDA ETAPA: aplicación en el laboratorio de Física. *Se utiliza software de sonido para analizar la onda producida por un diapasón, captando el sonido con un micrófono conectado a un ordenador portátil. Se realiza un estudio cualitativo y cuantitativo de algunas propiedades de las ondas (periodo, frecuencia, amplitud) y se valora la precisión de la medida de la frecuencia. Se explica la relación entre la frecuencia y las notas musicales, y se mide, mediante el uso de software de sonido, la frecuencia de las copas, previamente afinadas.*

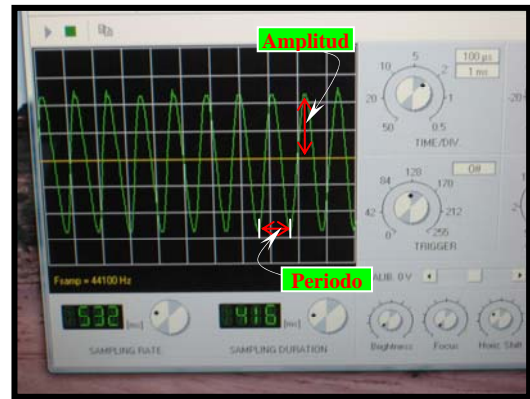
- A continuación se procedió a medir la frecuencia del sonido producido. Se buscó en Internet un programa de adquisición y análisis de sonidos para ordenador (osciloscopio digital). Siguiendo las indicaciones de Chantal Ferrer y Ana Cros, *¡Física, maestro!*⁴, se hizo vibrar un diapasón, que produce un sonido correspondiente a 440 Hz, y el sonido se registró mediante un micrófono conectado a un ordenador portátil.



- La gráfica sinusoidal obtenida se optimizó modificando la escala, de forma que se apreciaran claramente al menos 10 pulsos de la onda. Se midió el tiempo transcurrido entre esos 10 pulsos consecutivos y el resultado se dividió entre 10 para determinar el periodo. La fracción inversa del

periodo nos proporcionó la frecuencia del diapasón ($f = 1/T$).

- La medida anterior se realizó en dos ordenadores portátiles diferentes, obteniéndose un resultado de 441 Hz en el portátil con mejor tarjeta de sonido. Este dato, suponiendo que la frecuencia emitida por el diapasón sea exactamente de 440 Hz, nos da un error relativo del 0,2 %. La poca cuantía de este error permite suponer que este método hará posible afinar las copas midiendo la frecuencia de los sonidos que produzcan.



- El siguiente paso consistió en buscar una lista con las frecuencias de las notas musicales. Como la operación a realizar ahora consistía solamente en la medida de frecuencias, se localizó en Internet un frecuencímetro para ordenador que hiciera más cómodo el procedimiento, dejando el osciloscopio

para posteriores aplicaciones de la experiencia en el aula.

- Una vez realizados los ajustes necesarios para su optimización, se procedió a medir la frecuencia de los sonidos producidos por las copas con el frecuencímetro. El procedimiento para generar el sonido fue el mismo que el utilizado para afinar con el piano: rozar un dedo humedecido alrededor



del borde de la copa para provocar la vibración del cristal. De esta forma, se consigue un sonido prolongado en el tiempo que permite ser registrado.

- Por último, se prueba la escala obtenida interpretando melodías sencillas. En este caso se utiliza una baqueta para golpear las copas, pues se obtienen resultados más satisfactorios.

-TERCERA ETAPA: utilización como recurso en actividades extraescolares. Finalmente, esta experiencia fue retomada por alumnos de Física y Química de 4º ESO para una semana cultural, donde se realizó una sesión de Ciencia Recreativa. Con este motivo, un alumno fabricó una escala musical con botellas de agua y otra alumna interpretó con ellas melodías sencillas⁵.

- Durante el tercer trimestre del curso 2007/08 tuvo lugar una semana cultural en el IES Pedro Peñalver de El Algar en la que se llevó a cabo por parte de un grupo de alumnos de una sesión de Ciencia Recreativa en la que realizaron varias demostraciones. Una de las experiencias realizadas



por los alumnos fue interpretar una melodía con unas botellas de agua. Las botellas fueron afinadas por un alumno de Física y Química de 4º ESO con conocimientos de música; en esta ocasión, el alumno hizo uso de un afinador de instrumentos musicales. En el transcurso de la sesión los alumnos explicaron a la audiencia el fundamento científico de la experiencia, para continuar con la interpretación de la melodía con las botellas.

7) APLICACIÓN EN EL AULA

- Entre los objetivos planteados con esta experiencia se encuentra “constituir una aplicación didáctica que permita abordar aspectos científicos de las ondas sonoras”. Como se indica en la introducción, la divulgación de la Ciencia puede constituir un recurso motivador que permita a los profesores contrarrestar la apatía y el desinterés de los alumnos. En este apartado se plantea una aplicación de esta experiencia en el aula donde se abordan todos los objetivos y contenidos relacionados con el currículo, enumerados en el apartado 3 de la presente comunicación.

Objetivo 1.-Comprender que el sonido es una onda originada por la vibración del aire.

Llenamos hasta la mitad una de las copas y la golpeamos con la baqueta. Observamos que la superficie del agua presenta una vibración.



El golpe sobre el cristal produce una vibración de una frecuencia determinada que se transmite tanto al agua como al aire que hay encima, produciendo

un sonido característico. La fuente de todas las ondas es algo que vibra⁶; en nuestro caso, el sonido producido por la copa se origina en la vibración del aire.

Objetivo 2.-Utilizar un osciloscopio digital para registrar los sonidos producidos y aprender, de forma cualitativa, propiedades de las ondas como periodo, frecuencia, amplitud y longitud de onda.

En el ordenador mostramos el osciloscopio. Conectamos un micrófono para captar el sonido, que se colocará al lado de la copa anterior. Rozamos un dedo humedecido sobre el borde de la copa para producir un sonido sostenido en el tiempo, que registrará el osciloscopio.

Optimizamos la gráfica sinusoidal obtenida modificando la escala. La gráfica nos permitirá apreciar, de forma cualitativa, las características de la onda: amplitud, longitud de onda, periodo y frecuencia. También podemos comparar la amplitud del sonido cuando éste aumenta o disminuye su intensidad observando la variación de la altura de la gráfica.

Aunque en este trabajo el osciloscopio sólo se utiliza para describir las posibilidades didácticas de las copas de agua, pueden encontrarse otras aplicaciones del mismo en el aula⁷.

Objetivo 3.-Utilizar el osciloscopio digital para medir la frecuencia del sonido producido por una copa con agua.

Hacemos vibrar la copa rozando el dedo alrededor del borde para producir un sonido sostenido en el tiempo. Conectamos el osciloscopio y lo detenemos cuando la gráfica sea

uniforme. Medimos el tiempo transcurrido entre 10 pulsos consecutivos y el resultado se divide entre 10 para determinar el periodo. La fracción inversa del periodo nos proporcionará la frecuencia del sonido ($f = 1/T$).

Objetivo 4.-Relacionar los sonidos producidos con la cantidad de aire que vibra, diferenciando entre sonidos agudos y graves con la medida de la frecuencia en un frecuencímetro.

Ahora abrimos el programa del frecuencímetro y seleccionamos la sensibilidad máxima. Producimos un sonido sostenido en la copa y medimos la frecuencia. Repetimos la medida tras quitar o añadir agua.

Observamos que la frecuencia aumenta al quitar agua y disminuye cuando el agua se añade. Por tanto, llegamos a la conclusión de que el sonido es más agudo (mayor frecuencia) cuanto menor es la cantidad de agua que contiene la copa.

Objetivo 5.-Producir sonidos musicales: relacionar las diferentes notas musicales con la frecuencia y afinar las copas para obtener una escala musical utilizando el contador de frecuencias.

Procedemos a afinar las copas añadiendo o quitando agua hasta que el sonido obtenido para que cada nota coincida con el valor de frecuencia deseado. Para ello nos valemos de la siguiente tabla:

| Frecuencia en Hz de las notas musicales en sus primeros armónicos. | | | | | | | | | | | |
|---|----------|-----------|----------|-----------|-----------|----------|------------|----------|-----------|----------|-----------|
| Do | # | Re | # | Mi | Fa | # | Sol | # | La | # | Si |
| 261 | 277 | 294 | 311 | 330 | 349 | 370 | 392 | 415 | 440 | 466 | 494 |
| 522 | 554 | 588 | 622 | 660 | 698 | 740 | 784 | 830 | 880 | 932 | 988 |

En primer lugar medimos la frecuencia de la copa vacía. A continuación realizamos la misma operación con la copa llena de agua. Observamos que el rango de frecuencias obtenido se encuentra comprendido entre los 392 Hz de la primera nota de nuestra escala y los 740 Hz de la última nota.

Afinamos las copas de acuerdo con estos datos. Reasignamos las notas en nuestra escala de forma que la nota más grave, “DO”, corresponda al valor más bajo de frecuencia, mientras que la nota más aguda, “SI”, corresponda al valor más alto frecuencia. Comprobamos la escala obtenida.

La experiencia resulta mucho más vistosa si el agua se tiñe con algún colorante.

Objetivo 6.-Interpretar melodías sencillas con las copas afinadas.

Las siguientes melodías han sido interpretadas con las copas. Debemos tener en cuenta que la frecuencia de la nota que suena en la copa no coincide con la frecuencia de la nota real que aparece en la partitura, ya que se ha realizado un transporte de las notas en la escala⁸.

| Cumpleaños feliz | | | | | | |
|------------------|----|-----|-----|-----|----|----|
| DO | DO | RE | DO | FA | MI | |
| DO | DO | RE | DO | SOL | FA | |
| DO | DO | LA | SOL | FA | MI | RE |
| LA | LA | SOL | FA | SOL | FA | |

| Himno a la alegría | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------|----|-----|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| MI | FA | SOL | SOL | FA | MI | RE | DO | DO | RE | MI | MI | RE | | | |
| MI | FA | SOL | SOL | FA | MI | RE | DO | DO | RE | MI | RE | DO | DO | | |
| RE | MI | DO | RE | MI | FA | MI | DO | RE | MI | FA | MI | RE | DO | RE | RE |
| MI | FA | SOL | SOL | FA | MI | RE | DO | DO | RE | MI | RE | DO | DO | | |

| When the saints go marching in | | | | | | | | |
|--------------------------------|----|----|-----|----|----|-----|-----|----|
| DO | MI | FA | SOL | | | | | |
| DO | MI | FA | SOL | | | | | |
| DO | MI | FA | SOL | MI | DO | MI | RE | |
| MI | MI | RE | DO | DO | MI | SOL | SOL | FA |
| FA | MI | FA | SOL | MI | DO | RE | DO | |

8) NOTAS.

1. Un análisis sobre las aplicaciones de la Ciencia Recreativa en el aula puede encontrarse en la reseña bibliográfica PEÑA, M. Y GARCÍA, D. (2007): *La divulgación de la Ciencia como recurso motivador mediante sesiones de experiencias magistrales*. También pueden visualizarse en la sección “Experiencias educativas anteriores” del portal “Educarm”, <http://www.educarm.es/>, con fecha 22/02/08, una serie de vídeos de los autores del artículo reseñado con motivo de una sesión de Ciencia Recreativa realizada en el IES Pedro Peñalver de El Algar bajo el título de “Presión, Ondas y Explosiones”.

2. La reproducción de sonido mediante copas con agua aparece descrita en algunos libros sobre Ciencia Recreativa, como los dos reseñados en la bibliografía. En el primero, PRESS, H. J. (2006): *Experimentos sencillos con fuerzas y ondas*, se describe la forma más adecuada de producir sonido mediante una copa con agua, además de explicar otras experiencias relacionadas con las ondas (sonido, luz, ilusiones ópticas...). Y merece la pena dedicar un tiempo al segundo de los libros de estas características, TISSANDIER, G. (2003): *Recreaciones Científicas. La física y la química sin aparatos ni laboratorio y sólo por los juegos de la infancia*. Se trata de una reedición de una obra de divulgación científica de 1887, con ilustraciones de grabados de gran calidad. La ilustración de la página 70 ha servido de inspiración para este trabajo.

3. Es importante colorear el agua para resaltar las copas con el fin de que la audiencia pueda apreciar mejor cómo se desarrolla la experiencia. La coloración del agua se realizó siguiendo las indicaciones del apartado 8.2 “Rainbow Colors with Mixed Acid-Base Indicators” de la excelente recopilación de experiencias de Química recogidas en la colección *Chemical Demonstrations* de Bassam Z. Shakhshiri, indicado en la bibliografía. Sin embargo, pueden utilizarse otros métodos más sencillos para colorear el agua, como añadir colorantes alimentarios.

4. El artículo *¡Física, maestro!* de Chantal Ferrer-Roca y Ana Cros “es una propuesta que organiza y desarrolla un conjunto de demostraciones, estructuradas en una secuencia temática, con el fin de ilustrar los principios que subyacen en los fenómenos relacionados con la música”, sic. En este artículo se apunta la posibilidad de adquirir sonido con un programa de adquisición y análisis de sonidos para ordenador, posibilidad que se ha desarrollado en esta experiencia para analizar el sonido producido por las copas.

5. En este apartado se hace referencia a la IV semana cultural que tuvo lugar en el IES Pedro Peñalver de El Algar con el nombre de “ARTyMAÑAS”. Una de las actividades presentadas por el departamento de Física y Química consistió en una sesión de Ciencia Recreativa realizada por los alumnos denominada “ARTE VERSUS CIENCIA”, en la que aparece la experiencia aquí descrita. En el portal “Educarm”, <http://www.educarm.es/>, puede verse un vídeo resumen de la sesión en la sección “Experiencias educativas anteriores” con fecha 25/05/08.

6. “El texto de Hewitt logra que los estudiantes lo aborden con analogías e imaginación a partir de situaciones del mundo real, para construir una bien cimentada comprensión conceptual de los principios físicos que van de la mecánica clásica a la física moderna”, sic. Este fragmento de la sinopsis del libro *Física Conceptual*, que figura en la bibliografía, resume con precisión su utilidad, no sólo para los estudiantes de Física. Los conceptos generales sobre vibraciones y ondas que aparecen en el capítulo 19, así como algunos de los relativos al sonido del capítulo 20, se han tomado como referencia en este trabajo.

7. Además de las aplicaciones que se abordan en este trabajo con copas de cristal, el osciloscopio permite otras aplicaciones didácticas, como la distinción entre sonidos y ruidos y relacionar sonoridad, tono y timbre con las propiedades de la onda sonora. Todas estas aplicaciones pueden analizarse con más detalle en el trabajo de GARCÍA-VERDUGO, A.:

Estudio del sonido por ordenador con “Creative Wave Studio”, que puede localizarse en Internet.

8. Puede obtenerse más información sobre construcción de escalas musicales, además de otros aspectos científicos y matemáticos de la música, en la dirección electrónica:

http://www.xtec.net/centres/a8019411/caixa/m_int_es.htm

9) BIBLIOGRAFÍA.

CROS, A. Y FERRER-ROCA, C. (2005): *¡Física, maestro! Un recorrido experimental por la física de la música*. Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales, n.46.

HEWITT, P. (2004): *Física conceptual, novena edición*. Pearson Educación.

PEÑA, M. Y GARCIA, D. (2007): *La divulgación de la ciencia como recurso motivador mediante sesiones de experiencias magistrales*. I Jornada de intercambio de experiencias educativas. Centro de Profesores y Recursos de Cartagena.

PRESS, H. J. (2006): *Experimentos sencillos con fuerzas y ondas*, p. 44. Oniro.

SHAKHASHIRI, B. Z. (1989): *Chemical Demonstrations*, Vol. 3, p. 41. Wisconsin.

TISSANDIER, G. (2003): *Recreaciones Científicas. La física y la química sin aparatos ni laboratorio y sólo por los juegos de la infancia, tercera edición*. Alta Fulla, p. 70.

AGRADECIMIENTOS.

Nuestro agradecimiento a los alumnos Nani Guerrero Rosique y José Antonio Victoria Fernández por su colaboración en esta experiencia.