



Universidad de Valladolid

FACULTAD DE CIENCIAS

Máster en Profesor de Educación Secundaria Obligatoria y
Bachillerato, Formación Profesional y Enseñanza de Idiomas

TRABAJO DE FIN DE MÁSTER

“La didáctica del sonido en el aula de Física y Química.”

Autora: Dña. Beatriz Estébanez Gómez

Tutora: Dra. Susana Quirós Alpera

Curso 2023/2024

Valladolid a 3 de julio de 2024

"Creo que no sabemos nada con certeza, pero probablemente todo lo que sabemos es incierto". -
Christiaan Huygens, Carta a Pierre Perrault, «Sur la préface de M. Perrault de son traité del'Origine
des fontaines» [1763], Oeuvres Complètes de Christiaan Huygens (1897), vol. 7 , 298.

Resumen

Este Trabajo de Fin de Máster (TFM) se centra en la implementación de una propuesta didáctica para la enseñanza del concepto de sonido en el aula de Física de 2º de Bachillerato, utilizando la metodología de indagación y la experimentación como herramientas clave. El objetivo principal es fomentar un aprendizaje significativo y funcional en los estudiantes, permitiéndoles relacionar los nuevos conocimientos con los previos y aplicarlos en contextos reales fuera del aula.

La propuesta didáctica integra tanto la teoría como la práctica experimental, con un enfoque en la indagación científica. Los estudiantes son alentados a medir y analizar datos experimentales, establecer relaciones entre variables físicas, y utilizar sistemas de representación gráfica para interpretar sus hallazgos. Además, se promueve el razonamiento lógico-matemático y la cooperación en la resolución de problemas, subrayando la relevancia de la Física en una sociedad ética y sostenible.

Además, este TFM está alineado con varios Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), incluyendo la educación de calidad, la innovación, las comunidades sostenibles, la acción climática y la vida de ecosistemas terrestres. Los estudiantes investigan cómo los niveles de ruido afectan a la biodiversidad y proponen soluciones para mitigar estos efectos, sensibilizándolos sobre la importancia de un entorno acústico saludable para la biodiversidad.

A lo largo del proyecto, los estudiantes han demostrado una mejora significativa en su comprensión del sonido, aplicando técnicas de indagación y produciendo informes detallados que incluyen argumentaciones, conclusiones, tablas de datos, y gráficas. La propuesta también ha logrado que los estudiantes valoren los avances en Física y su impacto en la sociedad, fomentando debates fundamentados sobre la ética y la sostenibilidad.

En definitiva, este TFM proporciona a los estudiantes no solo conocimientos teóricos y prácticos sobre el sonido, sino también habilidades críticas de indagación, análisis y valoración de la ciencia en un contexto ético y sostenible.

Palabras clave

Propagación del sonido, Indagación, Objetivos de Desarrollo Sostenible, Innovación, Bachillerato

Abstract

This Master's Thesis (TFM) focuses on the implementation of a didactic proposal for teaching the concept of sound in the final year high school Physics classroom, using inquiry-based learning and experimentation as key tools. The main objective is to promote meaningful and functional learning in students, enabling them to relate new knowledge to prior knowledge and apply it in real-world contexts outside the classroom. The didactic proposal integrates both theory and experimental practice, emphasizing scientific inquiry. Students are encouraged to measure and analyze experimental data, establish relationships between physical variables, and use graphical representation systems to interpret their findings. Additionally, logical-mathematical reasoning and cooperation in problem-solving are promoted, highlighting the relevance of Physics in an ethical and sustainable society.

Moreover, this Master's Thesis aligns with several Sustainable Development Goals (SDGs), including quality education, innovation, sustainable communities, climate action, and life on land. Students investigate how noise levels affect biodiversity and propose solutions to mitigate these effects, raising awareness about the importance of a healthy acoustic environment for biodiversity. Throughout the project, students have demonstrated significant improvement in their understanding of sound by applying inquiry techniques and producing detailed reports that include arguments, conclusions, data tables, and graphs. The proposal has also achieved the goal of making students appreciate advances in Physics and their impact on society, fostering informed debates on ethics and sustainability.

In conclusion, this Master's Thesis has provided students not only with theoretical and practical knowledge about sound but also with critical skills in inquiry, analysis, and evaluation of science in an ethical and sustainable context.

Keywords

Sound propagation, Inquiry, Sustainable Development Goals (SDGs), Innovation, High School

Índice

1. Introducción	7
1.1 Motivación	7
1.2 Objetivos	8
1.3 Planteamiento del trabajo	8
1.4 Estructura de capítulos	10
2. Contexto y estado del arte	11
2.1 Referentes teóricos	11
Primeras Observaciones:	12
Edad Media:	12
Renacimiento	13
Siglo XVII y Teoría Ondulatoria:	14
Siglo XVIII y XIX	16
Siglo XX y XXI	18
Conclusión sobre el Marco Histórico	19
2.2 Dificultades de aprendizaje	19
2.2.1 Dificultades en el aula de Física y Química	20
2.2.2 Dificultades en el concepto del sonido	25
3. Planificación de la intervención en el aula	27
3.1 Metodología	27
3.2 Objetivos de la unidad didáctica	29
3.3 Marco Teórico	29
3.4 Experimentos y experiencias	48
Experimento 1: El sonido mueve las partículas	48
Experimento 2: Comprobar los niveles de intensidad sonora de diferentes situaciones	49
Experimento 3: Efecto Doppler	51
Experimento 4: Medida de la velocidad de propagación del sonido	54
3.5 Marco Contextual	55
3.6 Secuenciación/temporalización	57
3.7 Recursos	58
3.7.1 Material Didáctico	58
3.7.2. Software y Aplicaciones	59
3.7.3. Recursos Audiovisuales	59

3.7.4. Espacios y Mobiliario.....	59
3.7.5. Recursos Humanos.....	59
3.7.6. Evaluación	59
3.8 Evaluación y rúbrica.....	59
3.8.1 Criterios de evaluación	59
3.8.2 Rúbrica de evaluación para una práctica de laboratorio	62
3.8.3 Rúbrica de evaluación para un examen de física	64
3.8.4 Rúbrica de evaluación para los proyectos de indagación de física	66
3.8.5 Rúbrica de evaluación de la actitud del alumno de secundaria	68
3.8.6 Criterios de calificación.....	69
4. Contextualización de este trabajo en los Objetivos de Desarrollo Sostenible.....	70
5. Conclusiones y trabajos futuros de la contribución	71
5.1 Conclusiones	71
5.2 Líneas de trabajo futuras.	72
Referencias bibliográficas	73
Libros y revistas	73
Legislación	74
Webgrafías.....	74
Anexos	75
Anexo I: Examen.....	75
Anexo II: Ejemplo de desarrollo de un tema de indagación.	80
Anexo III: Ejemplo de un informe de laboratorio.	83

1. Introducción

El Trabajo Fin de Máster (TFM) representa la culminación del Máster de Profesorado en Educación Secundaria Obligatoria, Bachillerato, Formación Profesional y Enseñanza de Idiomas. Este proyecto final tiene como principal objetivo demostrar la capacidad del estudiante para reflexionar sobre los conocimientos y competencias adquiridos durante el curso. Para ello, el estudiante debe presentar una actividad didáctica relacionada con la Física y la Química, teniendo en cuenta que cada nivel educativo posee exigencias metodológicas específicas y que el rol del profesor en el aula es crucial para los resultados académicos de los alumnos.

En el contexto de la enseñanza de ciencias experimentales, como la Física y la Química, es esencial que el futuro docente domine una variedad de recursos didácticos y posea una capacidad de abstracción que le permita simplificar y clarificar conceptos científicos complejos. Es fundamental que el profesor utilice un lenguaje accesible y cercano a los alumnos, aunque sin perder de vista la precisión y la terminología propia del lenguaje científico. Además, es importante fomentar el interés y la curiosidad por el conocimiento científico en los estudiantes, ayudándoles a apreciar la importancia del desarrollo científico en el progreso tecnológico y su impacto en la sociedad.

El TFM también debe subrayar la naturaleza provisional del conocimiento científico, resaltando cómo la innovación y la actitud emprendedora contribuyen al avance de la ciencia y, por ende, de la sociedad. El trabajo debe reflejar una comprensión profunda de estos aspectos y mostrar cómo el docente puede integrar estos principios en su práctica educativa para enriquecer el aprendizaje de los alumnos y estimular un pensamiento crítico y reflexivo sobre el mundo que los rodea. En resumen, el TFM no solo es una oportunidad para demostrar el dominio de los contenidos académicos y pedagógicos, sino también para evidenciar la capacidad del futuro docente de inspirar y guiar a sus alumnos en el apasionante camino del descubrimiento científico.

1.1 Motivación

La elección de este tema como Trabajo de Fin de Máster (TFM), surge de la idea de innovar en la enseñanza de la didáctica del concepto de sonido en el aula de Física de 2º de bachillerato, en la comunidad autónoma de Castilla y León, haciendo partícipes a los alumnos de su aprendizaje, mediante la indagación, y utilizando la experimentación como instrumento didáctico y pedagógico para afianzar los conceptos. De esta manera, favoreceremos que los alumnos relacionen los

conocimientos adquiridos con los previos (aprendizaje significativo) y que dichos conocimientos se puedan aplicar y utilizar fuera del aula (aprendizaje funcional).

Uno de los mayores retos a los que nos vamos a enfrentar es la falta de tiempo para realizar prácticas en 2º de Bachillerato, ya que este curso es de gran importancia debido al propósito de garantizar que el alumno realice un buen papel en la EBAU, lo que obliga a mantener la clase magistral por parte del profesorado, evitando impartir las clases de maneras diferentes a la clase tradicional.

1.2 Objetivos.

- Desarrollar una unidad didáctica con varias situaciones de aprendizaje (experimentación, indagación, ...) sobre la naturaleza del sonido orientada a alumnos de 2º de Bachillerato en la comunidad autónoma de Castilla y León.
- Diseñar 4 prácticas experimentales aplicadas a las nuevas tecnologías para comprender el sonido y sus propiedades: propagación, efecto Doppler, nivel de intensidad sonora.
- Enmarcar estos conocimientos dentro de los objetivos de desarrollo sostenible.

1.3 Planteamiento del trabajo

En primer lugar, vamos a analizar cómo están integrados los conceptos de ondas y sonido en el currículum de nuestra comunidad autónoma, tanto de Educación Secundaria Obligatoria, como en el de Bachillerato.

Según el *DECRETO 39/2022, de 29 de septiembre, por el que se establece la ordenación y el currículo de la educación secundaria obligatoria en la Comunidad de Castilla y León*, el temario que nos concierne se encuentra encuadrado dentro de la asignatura de Física de 4º curso de Educación Secundaria Obligatoria y específicamente en el bloque “C. La energía”, cuyos contenidos son los siguientes, que citamos textualmente:

- La energía: formulación y comprobación de hipótesis sobre las distintas formas y aplicaciones de la energía, a partir de sus propiedades y del principio de conservación, como base para la experimentación y la resolución de problemas relacionados con la energía mecánica en situaciones cotidianas.

- Transferencias de energía: el trabajo y el calor como formas de transferencia de energía entre sistemas relacionados con fuerzas: conceptos de trabajo y potencia, o la diferencia de temperatura: concepto de calor y equilibrio térmico entre dos sistemas. La luz y el **sonido** como ondas que transfieren energía.
- La energía en nuestro mundo: estimación de la energía consumida en la vida cotidiana mediante la búsqueda de información contrastada, la experimentación y el razonamiento científico, comprendiendo la importancia de la energía en la sociedad, su producción (rendimiento del proceso) y su uso responsable.

Según el *DECRETO 40/2022, de 29 de septiembre, por el que se establece la ordenación y el currículo del bachillerato en la Comunidad de Castilla y León*, el temario que nos concierne se encuentra encuadrado dentro de la asignatura de Física de 2º de Bachillerato y específicamente en el bloque C. Vibraciones y ondas, cuyos contenidos son los siguientes:

- Movimiento oscilatorio: variables cinemáticas de un cuerpo oscilante y conservación de energía en estos sistemas.
- Movimiento ondulatorio, magnitudes que le caracterizan y tipos de ondas: gráficas de oscilación en función de la posición y del tiempo, ecuación de onda que lo describe y relación con el movimiento armónico simple. Distintos tipos de movimientos ondulatorios en la naturaleza.
- Energía de propagación de una onda. Potencia asociada a un movimiento ondulatorio. Intensidad de una onda y fenómenos de atenuación y absorción.
- Propagación de las ondas. Principio de Huygens. Fenómenos ondulatorios, reflexión, refracción, difracción, interferencias: situaciones y contextos naturales en los que se ponen de manifiesto distintos fenómenos ondulatorios y aplicaciones. **Ondas sonoras** y sus cualidades, **nivel de intensidad sonora**. Cambios en las propiedades de las ondas en función del desplazamiento del emisor y receptor.
- Naturaleza de la luz: controversias y debates históricos. La luz como onda electromagnética. Espectro electromagnético. Reflexión y refracción. Leyes de Snell. Ángulo límite, reflexión total y la fibra óptica. Estudio de la lámina de caras planas y paralelas. Estudio cualitativo de la dispersión.
- Formación de imágenes en medios y objetos con distinto índice de refracción. Sistemas ópticos: dioptrio plano, lentes delgadas, espejos planos y curvos y sus aplicaciones. El ojo

humano y defectos de la visión. Aplicaciones a instrumentos ópticos como la lupa, la cámara fotográfica, el microscopio, y el telescopio.

En base a esto, y teniendo en cuenta que vamos a ubicarnos en el temario de 2º de bachillerato, se ha establecido una relación entre las actividades de aprendizaje propuestas con las competencias clave y los objetivos definidos en el *DECRETO 40/2022, de 29 de septiembre, por el que se establece la ordenación y el currículo del bachillerato en la Comunidad de Castilla y León*.

1.4 Estructura de capítulos

El objetivo de este apartado es describir brevemente cómo está estructurado este trabajo de Fin de Máster para ofrecer una visión global de los capítulos y su contenido:

- Introducción: Este capítulo se enfoca en presentar la motivación detrás del trabajo, los objetivos que se persiguen y el planteamiento general del estudio.
- Contexto y estado del arte: En este capítulo se establece el marco teórico del estudio, revisando las investigaciones previas y los desarrollos históricos relacionados con el tema del sonido. Se analizan diferentes periodos históricos, desde las primeras observaciones hasta los desarrollos contemporáneos, para contextualizar el estado actual del conocimiento. Además, se abordan las dificultades de aprendizaje específicas que los estudiantes enfrentan en el aula de física y química, particularmente en lo relacionado con la comprensión del sonido.
- Planificación de la intervención en el aula: Aquí se detalla la metodología utilizada para desarrollar e implementar la unidad didáctica sobre el sonido. Se describen los objetivos específicos de la unidad, los contenidos a cubrir y las actividades de experimentación planificadas. También se incluyen los proyectos de indagación que los estudiantes llevarán a cabo, la secuenciación y temporalización de las actividades, los recursos necesarios y los métodos de evaluación. Este capítulo proporciona una guía completa para la ejecución práctica de la unidad didáctica, con un énfasis en la evaluación mediante rúbricas.
- Contextualización del trabajo en los Objetivos de Desarrollo Sostenible: Este capítulo conecta la unidad didáctica con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). Se explica cómo la enseñanza del sonido puede contribuir a varios ODS, destacando la importancia de la educación en la promoción de un desarrollo sostenible. Se discuten las contribuciones

específicas de la unidad didáctica a los ODS 4 (Educación de Calidad), 9 (Industria, Innovación e Infraestructura), 11 (Ciudades y Comunidades Sostenibles), 13 (Acción por el Clima) y 15 (Vida de Ecosistemas Terrestres).

- Conclusiones y trabajos futuros: En este capítulo se presentan las conclusiones derivadas del estudio y la implementación de la unidad didáctica. Se resumen los principales hallazgos y se evalúa el logro de los objetivos planteados al inicio del trabajo. Además, se proponen líneas de investigación y desarrollo futuras que podrían enriquecer y ampliar el impacto de la unidad didáctica, sugiriendo mejoras y nuevas áreas de exploración.
- Referencias bibliográficas: Este capítulo recopila todas las fuentes bibliográficas y referencias utilizadas a lo largo del trabajo. Es esencial para dar crédito a los autores consultados y para proporcionar al lector recursos adicionales para profundizar en los temas tratados.
- Anexos: Los anexos incluyen materiales complementarios que apoyan el contenido principal del trabajo, como ejemplos de exámenes, informes de laboratorio detallados y ejecución de actividades. Los anexos proporcionan un valor añadido al ofrecer detalles prácticos y específicos que pueden ser útiles para otros educadores y estudiantes interesados en replicar o adaptar la unidad didáctica.

2. Contexto y estado del arte

2.1 Referentes teóricos

Para enfrentar, de manera efectiva, el estudio de la didáctica del sonido en el aula de física y química, es de gran utilidad realizar un repaso inicial exhaustivo de su desarrollo a lo largo de la historia. Esta aproximación permite evitar la generación de una visión distorsionada de los conocimientos científicos y de la ciencia en sí misma. Al adoptar una perspectiva histórica, podemos obtener una secuencia lógica y coherente de cómo se originaron los diversos conceptos teóricos y la evolución de los mismos a lo largo del tiempo. Además, esta perspectiva nos permite comprender las diferentes cuestiones que surgieron y que dieron lugar al estudio de la materia en cuestión.

En este caso particular, el tema que nos ocupa es el concepto de sonido, enmarcado dentro del estudio de las ondas y comparado con la luz. A lo largo de este apartado, nos centraremos en los

momentos más importantes y significativos ocurridos durante la evolución histórica del estudio del sonido.

Para su estudio, se han utilizado varias fuentes entre las que destacan *Luz egos y universos* (Arentsen, 1985), *Historia de la ciencia de San Agustín a Galileo volumen I* (Crombie, 1996), *Los conceptos de la física: evolución histórica* (Sepúlveda, 2003), *Historia sencilla de la ciencia* (Comellas, 2007), *Historia de la Ciencia volumen II* (Hernández y Prieto, 2008), *Historia de las matemáticas* (Cajori, 1951) y *El pensamiento matemático de la antigüedad a nuestros días*, (Kline, 1972)

Primeras Observaciones:

Las civilizaciones antiguas, como los griegos y los romanos, ya tenían una comprensión básica del sonido. Filósofos como Pitágoras (c. 570-495 a.C.) estudiaron las propiedades del sonido en relación con la música y las vibraciones de las cuerdas. Pitágoras descubrió que las cuerdas de los instrumentos musicales producían sonidos de tonos más agudos al acortarse. Observó que el tono del sonido seguía una relación proporcional con la longitud de la cuerda: cuanto más corta era la cuerda, más agudo era el sonido producido. De esta manera, sentó las bases de la teoría musical y acústica

Aristóteles (384-322 a.C.) en su estudio sobre la música, intuyó que el sonido es una onda que se propaga en el aire mediante golpes de unas masas de aire sobre otras. Aunque esta era una primera aproximación algo rudimentaria, fue notablemente acertada considerando las limitaciones tecnológicas, conceptuales e instrumentales de la época.

Edad Media:

Durante la Edad Media, los estudios sobre el sonido se enfocaron principalmente en la música y la teoría musical, con figuras como Boecio (c. 480-524) influyendo en la teoría del sonido a través de sus escritos sobre música y acústica. En la obra *De institutione musica*, Boecio establece que la música es la ciencia del número relacionado con el sonido y que la consonancia es el objeto de investigación en la ciencia musical. Boecio tradujo y comentó obras antiguas, preservando y transmitiendo el conocimiento clásico sobre el sonido a través de los siglos.

Roger Bacon, fraile franciscano y filósofo inglés, aunque más conocido por sus trabajos en óptica y pionero en la utilización del método experimental para investigar fenómenos naturales mostró interés en cómo el sonido se propaga a través del aire. En su obra "Opus Majus" (c. 1267), Bacon discute la naturaleza del sonido y su propagación. Reconoció que el sonido se mueve en ondas y que su velocidad depende del medio a través del cual se propaga.

Renacimiento

Con el Renacimiento, hubo un resurgimiento en el interés científico, y figuras como Leonardo da Vinci (1452-1519) estudiaron la propagación del sonido y las vibraciones, llegando a estudiarlo en todas sus disciplinas:

- Ondas sonoras: Da Vinci entendía que el sonido se propaga en ondas y realizó experimentos para observar cómo se comportan estas ondas. Por ejemplo, observó cómo las ondas se propagan en el agua y dedujo que el sonido se comporta de manera similar en el aire.
- Reflexión y resonancia: Da Vinci estudió cómo las ondas sonoras se reflejan en superficies, lo que hoy conocemos como eco. También investigó la resonancia, observando cómo ciertos materiales y formas pueden amplificar el sonido.
- Instrumentos musicales: Además de sus estudios teóricos, Da Vinci diseñó varios instrumentos musicales. Algunos de estos diseños muestran su comprensión de cómo las vibraciones producen sonidos musicales. Por ejemplo, diseñó un instrumento de teclado que combinaba características del clavicordio y la viola, conocido como la viola organista.
- La voz humana: Da Vinci también estudió la anatomía humana y realizó observaciones sobre cómo se produce el sonido en el cuerpo humano. Entendió que las cuerdas vocales y la forma de la boca y la garganta juegan un papel crucial en la producción de la voz.

Por otra parte, Galileo Galilei (1564-1642) tuvo las siguientes aportaciones al conocimiento del sonido:

- Frecuencia y tono: Galileo fue uno de los primeros en reconocer la relación entre la frecuencia de las vibraciones y el tono del sonido. En sus experimentos con cuerdas vibrantes y otros objetos, observó que la frecuencia de las vibraciones determinaba el tono percibido del sonido. Esta observación es fundamental para la teoría de la música y la acústica.

- Vibración de las cuerdas: Galileo estudió cómo las cuerdas de diferentes longitudes, tensiones y grosores producían diferentes tonos. Sus experimentos con cuerdas estiradas ayudaron a establecer las bases de la física de las ondas y la acústica musical. Observó que la frecuencia del sonido de una cuerda vibrante es inversamente proporcional a su longitud y que cuerdas más tensas y delgadas producen tonos más agudos.
- Propagación del sonido: Aunque Galileo no formuló una teoría completa sobre la propagación del sonido, comprendió que el sonido se transmite a través de un medio como el aire. Reconoció que las vibraciones se trasladan a través de este medio, causando que el sonido llegue a nuestros oídos.
- Estudios sobre la resonancia: Galileo también investigó la resonancia, observando cómo ciertos objetos podían vibrar en respuesta a sonidos específicos. Este fenómeno es clave para entender cómo los instrumentos musicales amplifican el sonido.

Siglo XVII y Teoría Ondulatoria:

En el siglo XVII, el físico francés Marin Mersenne (1588-1648) hizo mediciones precisas de la velocidad del sonido en el aire. Los puntos clave sobre su trabajo en este campo son los siguientes:

- Leyes de Mersenne: Mersenne es conocido por formular las “Leyes de Mersenne”, que describen cómo la frecuencia de una cuerda vibrante depende de su longitud, tensión y masa. Estas leyes son fundamentales para entender cómo se producen los sonidos en instrumentos de cuerda y establecieron una base para la física musical.
- Determinación de la velocidad del sonido: Mersenne fue uno de los primeros en intentar medir la velocidad del sonido en el aire de manera precisa. Utilizando métodos experimentales, midió el tiempo que tardaba el sonido en viajar entre dos puntos separados por una distancia conocida. En su obra "Harmonie Universelle" (1636), Mersenne informó de sus observaciones y cálculos, estimando la velocidad del sonido en aproximadamente 448 metros por segundo. Aunque esta estimación no era completamente precisa según los estándares modernos (la velocidad real del sonido en el aire a temperatura ambiente es de unos 343 metros por segundo), su trabajo representó un avance significativo en la comprensión de la propagación del sonido.

- Contribuciones a la acústica: Además de sus esfuerzos por medir la velocidad del sonido, Mersenne también estudió las propiedades de las ondas sonoras, la resonancia y la armonía musical. Sus investigaciones ayudaron a establecer la acústica como una disciplina científica y tuvieron una gran influencia en posteriores estudios sobre el sonido.

Robert Boyle, más famoso por la ley de Boyle en la química (que describe la relación inversa entre la presión y el volumen de un gas), También realizó estudios influyentes sobre el sonido y la propagación de las ondas:

- Experimento del sonido en el vacío: Uno de los experimentos más importantes de Boyle relacionados con el sonido fue el realizado en 1660 sobre la propagación del sonido en el vacío. Utilizando una bomba de vacío, Boyle fue capaz de demostrar que el sonido no se propaga en ausencia de un medio material. Boyle colocó un reloj de alarma dentro de una campana de vidrio de la que se extrajo el aire. Observó que a medida que se eliminaba el aire, el sonido del reloj se hacía cada vez más débil hasta que se extinguía por completo cuando se lograba un vacío casi total. Esto proporcionó evidencia concluyente de que el sonido necesita un medio, como el aire, para propagarse.
- Otras observaciones: Boyle también exploró cómo diferentes medios afectan la velocidad y la calidad del sonido. Por ejemplo, investigó la propagación del sonido a través de sólidos y líquidos, contribuyendo al entendimiento de la acústica de materiales.

Christiaan Huygens (1629-1695) desarrolló su teoría ondulatoria de la luz y el sonido, proponiendo que ambos se propagan en forma de ondas:

- Su principio: conocido como el "principio de Huygens", formulado en 1678 afirma que cada punto de un frente de onda actúa como una fuente de ondas secundarias, y que el frente de onda en cualquier momento posterior es la envolvente de todas estas ondas secundarias. Esta idea ayudó a consolidar la comprensión de la naturaleza ondulatoria del sonido y su propagación a través de medios como el aire, el agua y los sólidos.
- Propagación del sonido en diferentes medios: Huygens estudió cómo el sonido se propaga en distintos medios y cómo la velocidad del sonido varía según el medio. Comprendió que la densidad y la elasticidad del medio afectan la velocidad a la que las ondas sonoras se propagan. Aunque no realizó mediciones exactas, sus ideas influyeron en posteriores estudios sobre la velocidad del sonido.

- Interferencia y difracción: El trabajo de Huygens en la teoría de las ondas también abarcó los fenómenos de interferencia y difracción, que son relevantes tanto para el sonido como para la luz. Estos fenómenos ocurren cuando las ondas interactúan entre sí o con obstáculos, produciendo patrones característicos que pueden observarse en experimentos acústicos.

Siglo XVIII y XIX

Isaac Newton (1642-1727) hizo contribuciones importantes al estudio del sonido, calculando la velocidad del sonido:

- En su obra "Principia Mathematica" (1687), Newton describió la relación entre la frecuencia de las vibraciones de las partículas en el medio y la longitud de onda del sonido. Además, hizo observaciones sobre cómo las propiedades del medio, como la densidad y la elasticidad, afectan la propagación del sonido.
- En "Opticks" (1704), Newton discutió la analogía entre las ondas de luz y las ondas de sonido, aunque no se dio cuenta completamente de la naturaleza ondulatoria de la luz. Analizó la reflexión y la refracción del sonido, explorando cómo las ondas sonoras interactúan con diferentes superficies y medios.

Leonhard Euler es conocido por sus contribuciones fundamentales a la teoría de las ondas, en particular las ecuaciones que describen la propagación de ondas en medios elásticos y fluidos. Euler enunció la ecuación de onda en 1757, y su trabajo se aplica a varios tipos de ondas, incluyendo ondas sonoras y ondas en cuerdas vibrantes.

Pierre-Simon Laplace hizo importantes contribuciones a la comprensión de la propagación del sonido en gases, especialmente al corregir, en 1816, la fórmula de la velocidad del sonido derivada inicialmente por Isaac Newton. Mientras que Newton asumió que los procesos de compresión y rarefacción en la propagación del sonido en el aire se realizaban isotérmicamente, Laplace observó que dichos procesos ocurren tan rápidamente que no hay tiempo suficiente para el intercambio de calor, lo que significa que estos procesos son adiabáticos, no isotérmicos. La corrección de Laplace ayudó a avanzar en el campo de la acústica, proporcionando una base teórica más sólida para el estudio de las ondas sonoras en gases y otros medios.

En su tratado "La sensación del tono como base fisiológica para la teoría de la música" (1863), Hermann von Helmholtz realizó importantes descubrimientos y desarrollos en el campo de la acústica:

- Relación entre intensidad del sonido y amplitud de vibración: determinó la proporcionalidad entre la intensidad del sonido y la amplitud de la vibración de la fuente sonora, y entre el tono y la frecuencia de la vibración. Sin embargo, le llevó más tiempo identificar la causa del timbre.
- Teoría de tonos complejos y armónicos: Desarrolló la teoría de que los tonos complejos se pueden descomponer en tonos puros (armónicos) y estudió cómo estos armónicos interactúan para formar la percepción del sonido.
- Resonadores: Inventó los resonadores de Helmholtz, dispositivos que pueden resonar a frecuencias específicas. Estos resonadores fueron utilizados para analizar los componentes armónicos de los sonidos complejos. Dichos resonadores permitieron a los científicos y músicos identificar y estudiar las diferentes frecuencias presentes en un sonido, mejorando la comprensión de la estructura armónica.
- Ondas estacionarias y resonancia: Helmholtz investigó las ondas estacionarias y la resonancia en tubos y otros sistemas, proporcionando explicaciones detalladas sobre cómo se forman los patrones de onda y cómo estos afectan la calidad del sonido en instrumentos musicales.

John William Strutt, conocido como Lord Rayleigh (1842-1919), publicó "La Teoría del Sonido" en 1877, una obra fundamental que sistematizó el conocimiento sobre la acústica y sentó las bases para el estudio moderno del sonido. Rayleigh abordó tanto la teoría matemática de las ondas sonoras como sus aplicaciones prácticas:

- Teoría matemática de las ondas sonoras: Rayleigh desarrolló y profundizó en la teoría matemática que describe las ondas sonoras. Abordó cómo las ondas sonoras se propagan a través de diferentes medios y bajo diversas condiciones. Introdujo el concepto de las ondas estacionarias y explicó cómo estas se forman y se comportan en distintos contextos, como en tubos y cuerdas vibrantes.
- Propiedades de las ondas sonoras: Estudió las propiedades de las ondas sonoras, como la velocidad, la frecuencia y la longitud de onda, y cómo estas propiedades se relacionan con

la percepción del sonido. Analizó la reflexión, la refracción, la difracción y la interferencia de las ondas sonoras, proporcionando una base teórica para entender estos fenómenos.

- Aplicaciones prácticas: Rayleigh aplicó su teoría a diversos problemas prácticos en acústica, como el diseño de instrumentos musicales, la acústica arquitectónica y la mejora de la calidad del sonido en espacios cerrados. Investigó la naturaleza del timbre y la calidad del sonido, contribuyendo a la comprensión de cómo los diferentes armónicos y sobretonos afectan la percepción del sonido.

Siglo XX y XXI

- Tecnología de audio: El siglo XX vio una explosión en el desarrollo de la tecnología de audio. La invención del fonógrafo por Thomas Edison en 1877 fue un hito importante, seguido por la radio, los micrófonos y la grabación digital. Estos avances revolucionaron la manera en que se producía, grababa y transmitía el sonido. La acústica arquitectónica también avanzó significativamente, con diseños de auditorios y teatros optimizados para una mejor calidad de sonido. Los estudios sobre la absorción y reflexión del sonido permitieron crear espacios con acústica controlada.
- Sonido digital y computación: En las últimas décadas, la digitalización del sonido ha transformado la música, las comunicaciones y el entretenimiento. La creación de formatos digitales como el MP3 y la transmisión de audio por internet han revolucionado la manera en que consumimos sonido. La computación ha permitido desarrollar herramientas avanzadas para la edición y manipulación del sonido, abriendo nuevas posibilidades creativas y técnicas.
- Desarrollo de los ultrasonidos: En el siglo XX, además de los avances en la tecnología de audio, se descubrió y desarrolló el uso de los ultrasonidos. Los ultrasonidos son ondas sonoras con frecuencias superiores a las que el oído humano puede percibir, es decir, por encima de 20,000 Hz. Entre otras, se encontraron estas aplicaciones para los ultrasonidos:
 - Aplicaciones médicas: Una de las aplicaciones más importantes de los ultrasonidos es en la medicina. La ecografía, que utiliza ultrasonidos para crear imágenes del interior del cuerpo, se ha convertido en una herramienta fundamental en el diagnóstico y seguimiento de enfermedades, así como en el monitoreo del embarazo.

- Industria y tecnología: En la industria, los ultrasonidos se utilizan para la limpieza, detección de fallos en materiales y soldadura, entre otras aplicaciones. La tecnología de ultrasonidos ha permitido avances significativos en la precisión y eficiencia de muchos procesos industriales.

Conclusión sobre el Marco Histórico

La comprensión del sonido ha recorrido un largo camino desde las primeras observaciones filosóficas hasta los avances científicos y tecnológicos actuales. Hoy en día, el sonido es una parte integral de nuestras vidas, no solo como un fenómeno físico, sino también como un medio de comunicación y expresión artística. La historia del sonido es un testimonio del ingenio humano y nuestra capacidad para explorar y comprender el mundo que nos rodea. Mediante el estudio de la evolución histórica del sonido, podemos apreciar mejor cómo se ha desarrollado nuestro conocimiento y cómo hemos llegado a las innovaciones actuales en este fascinante campo.

2.2 Dificultades de aprendizaje

En este apartado, se inicia analizando las dificultades que los alumnos enfrentan en la asignatura de Física y Química para, posteriormente, indicar aquellas específicas del tema del sonido. Para ello, se revisan diversas líneas de investigación centradas en el estudio de las dificultades que los alumnos experimentan en las ciencias, que se enumeran a continuación:

- En el caso general del aula de Física y Química, *Dificultades en el aprendizaje de las ciencias: Un enfoque evolutivo* (García, A., & Martínez, P., 2005), *Concepciones alternativas y enseñanza de las ciencias*. (Pérez, J., & López, R. 2008), *Los conceptos de la física: evolución histórica* (Sepúlveda, 2003), *Actitudes hacia la ciencia y su impacto en el aprendizaje* (Rodríguez, M. A. 2010) y *La enseñanza de la física y la química en la educación secundaria: desafíos y oportunidades* (Gómez, M., Gutiérrez, J., & Martín-Díaz, M. 2000).
- En el caso específico del sonido, *Esquemas conceptuales de los alumnos sobre el sonido* (Saura, J., & de Pro, A. 1999), *Las concepciones alternativas sobre el sonido y la audición en los estudiantes de secundaria*. (Perales, F. J. 1994), *Los conceptos de la física: evolución*

histórica (Sepúlveda, 2003) y *Escuchando el sonido: una investigación sobre las ideas de los estudiantes* (Perales, F. J., 1997).

2.2.1 Dificultades en el aula de Física y Química

En este apartado desarrollaremos las dificultades que enfrentan los estudiantes en la asignatura de física y química en la educación secundaria. Analizaremos cómo los conceptos abstractos y la terminología técnica presentan barreras significativas para la comprensión, así como la influencia de las concepciones previas erróneas que los alumnos traen al aula. También consideraremos el impacto de la falta de recursos adecuados y la formación insuficiente del profesorado en la enseñanza de estas materias. Además, exploraremos cómo las actitudes y la motivación de los estudiantes hacia la ciencia pueden afectar su rendimiento y proponemos estrategias pedagógicas para superar estos obstáculos y fomentar un aprendizaje más efectivo y significativo.

García y Martínez (2005) exploran las dificultades que los estudiantes encuentran en el aprendizaje de las ciencias desde una perspectiva evolutiva. El estudio se enfoca en cómo el desarrollo cognitivo y emocional de los estudiantes influye en su capacidad para comprender conceptos científicos complejos:

- Desarrollo cognitivo y comprensión científica: Los autores destacan que la capacidad de los estudiantes para entender conceptos científicos está estrechamente vinculada a su etapa de desarrollo cognitivo. Se observa que los estudiantes más jóvenes tienden a tener dificultades con conceptos abstractos y necesitan enfoques más concretos y visuales.
- Concepciones previas y aprendizaje: Las concepciones previas de los estudiantes sobre fenómenos científicos, aunque a menudo incorrectas, juegan un papel crucial en su proceso de aprendizaje. El desafío para los educadores es identificar y abordar estas concepciones para facilitar un aprendizaje efectivo y duradero.
- Habilidades de razonamiento: Las habilidades de razonamiento lógico y analítico se desarrollan gradualmente, y su falta puede obstaculizar la comprensión de conceptos científicos avanzados. El fomento de estas habilidades desde una edad temprana es esencial para el éxito en la educación científica.
- Actitudes hacia la ciencia: Las actitudes de los estudiantes hacia la ciencia, que incluyen su interés, motivación y percepción de la relevancia de la ciencia en la vida cotidiana,

influyen significativamente en su aprendizaje. Estas actitudes pueden mejorar con estrategias pedagógicas que hagan la ciencia más accesible y relevante

- Enfoques pedagógicos: García y Martínez subrayan la importancia de adaptar los enfoques pedagógicos a las necesidades evolutivas de los estudiantes. Proponen métodos que incluyen el uso de materiales didácticos adecuados, actividades prácticas y experimentales, y la integración de la tecnología en la enseñanza de las ciencias.

Según los autores, las implicaciones para la educación son las siguientes:

- Diseño curricular: Los currículos deben ser diseñados teniendo en cuenta las etapas de desarrollo de los estudiantes, proporcionando un equilibrio entre la teoría y la práctica.
- Formación del profesorado: Es crucial que los docentes reciban formación continua en estrategias didácticas que consideren las dificultades evolutivas de los estudiantes.
- Evaluación: Los métodos de evaluación deben reflejar tanto el conocimiento adquirido, como el desarrollo de habilidades cognitivas y actitudes positivas hacia la ciencia.

En definitiva, García y Martínez concluyen que una comprensión profunda de las dificultades evolutivas en el aprendizaje de las ciencias puede guiar la implementación de estrategias pedagógicas más efectivas. Estas estrategias deben ser adaptativas y centradas en el estudiante, fomentando un entorno de aprendizaje que apoye tanto el desarrollo cognitivo como emocional de los alumnos.

Pérez y López (2008) abordan las concepciones alternativas que los estudiantes tienen sobre diversos conceptos científicos y cómo estas afectan la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias. El artículo se centra en la identificación de estas concepciones y propone estrategias para abordarlas eficazmente en el aula:

- Identificación de concepciones alternativas: Los autores identifican que los estudiantes a menudo llegan a las aulas con concepciones previas sobre fenómenos científicos que son incorrectas o incompletas. Estas concepciones alternativas pueden ser resistentes al cambio incluso después de la instrucción formal.
- Impacto en el aprendizaje: Las concepciones alternativas pueden interferir con el aprendizaje de nuevos conceptos científicos al crear conflictos cognitivos. Los estudiantes tienden a interpretar la nueva información a través de sus concepciones previas, lo que puede llevar a malentendidos persistentes.

- Origen de las concepciones alternativas: Pérez y López señalan que estas concepciones provienen de la experiencia diaria, el lenguaje cotidiano, y la educación informal (como los medios de comunicación y la familia). Además, la enseñanza tradicional que se enfoca en la memorización en lugar de la comprensión puede perpetuar estas concepciones incorrectas.

A su vez, los autores establecen unas estrategias para abordar las concepciones alternativas:

- Diagnóstico previo: Es crucial que los docentes identifiquen las concepciones previas de los estudiantes al inicio de un curso o unidad.
- Enfoques constructivistas: Las estrategias de enseñanza deben centrarse en construir sobre las concepciones previas de los estudiantes, promoviendo el aprendizaje activo y la indagación.
- Uso de analogías y modelos: Utilizar analogías y modelos puede ayudar a los estudiantes a reconceptualizar sus ideas erróneas.
- Debates y discusiones: Fomentar el debate y la discusión en el aula permite a los estudiantes confrontar y reflexionar sobre sus concepciones alternativas.
- Experiencias prácticas: Las actividades prácticas y experimentales pueden proporcionar evidencia directa que contradiga las concepciones alternativas de los estudiantes.

En definitiva, Pérez y López concluyen que reconocer y abordar las concepciones alternativas es fundamental para una enseñanza eficaz de las ciencias. Sugieren que los educadores adopten estrategias didácticas que no solo transmitan información, sino que también desafíen y reconstruyan las ideas erróneas de los estudiantes. Esta aproximación, argumentan, no solo mejora la comprensión científica, sino que también fomenta una actitud más crítica y reflexiva hacia el aprendizaje.

Rodríguez (2010) explora cómo las actitudes de los estudiantes hacia la ciencia influyen en su aprendizaje y rendimiento académico. El estudio examina diversos factores que afectan estas actitudes y propone estrategias para mejorarlas, con el objetivo de fomentar un aprendizaje más efectivo y significativo en las ciencias. El autor identifica una fuerte correlación entre las actitudes positivas hacia la ciencia y el rendimiento académico en esta área. Los estudiantes con una actitud favorable tienden a estar más motivados, participativos y dispuestos a enfrentar desafíos en el aprendizaje científico. El autor establece los factores que influyen en las actitudes:

- Experiencias previas: Las experiencias tempranas, tanto positivas como negativas, influyen significativamente en las actitudes hacia la ciencia.
- Contexto educativo: El entorno escolar, incluyendo la metodología de enseñanza, la relación con los profesores y el apoyo institucional, impacta las actitudes de los estudiantes.
- Influencia social: Las expectativas y percepciones de padres, amigos y la sociedad en general juegan un papel crucial en la formación de actitudes hacia la ciencia.
- Diferencias de género: Rodríguez señala que existen diferencias de género en las actitudes hacia la ciencia, con las niñas a menudo mostrando menos interés y confianza en sus habilidades científicas en comparación con los niños. Estas diferencias están relacionadas con estereotipos de género y la falta de modelos femeninos en campos científicos.

El autor también identifica el impacto que tienen las actitudes en el aprendizaje. Las actitudes negativas hacia la ciencia pueden llevar a la evitación de cursos científicos y a una menor persistencia en tareas desafiantes. Por otro lado, las actitudes positivas fomentan la curiosidad, la creatividad y una mayor disposición a participar en actividades científicas extraescolares. Por ello, se han de desarrollar estrategias que mejoren las actitudes:

- Enfoques pedagógicos innovadores: Implementar métodos de enseñanza que sean interactivos, colaborativos y centrados en el estudiante puede mejorar las actitudes hacia la ciencia.
- Experiencias prácticas: Incluir actividades prácticas y experimentales en el currículo puede hacer que la ciencia sea más accesible y relevante para los estudiantes.
- Promoción de modelos a seguir: Fomentar la presencia de modelos científicos positivos, especialmente mujeres y personas de diversas culturas, puede ayudar a combatir estereotipos y motivar a todos los estudiantes.
- Apoyo emocional y motivacional: Crear un ambiente de apoyo emocional y motivacional dentro del aula, donde los estudiantes se sientan seguros para expresar sus ideas y cometer errores, es crucial para desarrollar actitudes positivas.

Rodríguez concluye que las actitudes hacia la ciencia son un componente esencial en el aprendizaje de esta disciplina. Mejorar estas actitudes requiere un enfoque multifacético que incluya cambios en la metodología de enseñanza, la creación de ambientes de aprendizaje positivos y la promoción

de modelos diversos en la ciencia. Estas mejoras no solo aumentan el rendimiento académico, sino que también fomentan un interés duradero por la ciencia.

Según Gómez, Gutiérrez y Martín-Díaz (2000), la enseñanza de la física y la química en la educación secundaria presenta una serie de desafíos y oportunidades que afectan tanto a la comprensión de los estudiantes como a la eficacia de la enseñanza. Los autores identifican varios desafíos en la enseñanza de la física y química:

- Dificultad conceptual: Los conceptos en física y química son a menudo abstractos y requieren un nivel de comprensión matemática y lógica que muchos estudiantes no consiguen alcanzar. Es por esto que existe una tendencia a memorizar fórmulas y definiciones sin una comprensión profunda de los principios subyacentes.
- Falta de recursos adecuados: Muchos institutos carecen de laboratorios bien equipados y de materiales didácticos actualizados que puedan facilitar una enseñanza práctica y experimental. La escasez de recursos tecnológicos también limita la posibilidad de realizar simulaciones y experimentos virtuales.
- Formación del profesorado: La capacitación continua de los profesores es esencial para mantener actualizados sus conocimientos y habilidades pedagógicas. A menudo, los profesores no reciben suficiente formación en metodologías didácticas específicas para la enseñanza de ciencias.
- Metodología de la enseñanza: Predomina un enfoque tradicional y teórico en la enseñanza, centrado en la exposición del contenido y la resolución de problemas de libro. La falta de integración de metodologías activas, como el aprendizaje basado en proyectos o el enfoque de aprendizaje por indagación, puede limitar el interés y la comprensión de los estudiantes.
- Motivación y actitudes de los estudiantes: Los estudiantes a menudo perciben la física y la química como materias difíciles y poco relevantes para su vida cotidiana. Esta falta de conexión entre los contenidos curriculares y las aplicaciones prácticas puede disminuir la motivación de los alumnos.

Por otra parte, los autores describen una serie de oportunidades para mejorar la enseñanza:

- Innovación en metodologías didácticas: Implementar metodologías activas y participativas que involucren a los estudiantes en el proceso de aprendizaje, como el aprendizaje basado en proyectos y la resolución de problemas. Utilizar tecnologías digitales y recursos

interactivos para facilitar la visualización de conceptos abstractos y la realización de experimentos virtuales.

- Formación y desarrollo profesional del profesorado: Promover la formación continua de los profesores en nuevas metodologías didácticas y en el uso de tecnologías educativas. Fomentar la colaboración y el intercambio de experiencias entre docentes para mejorar las prácticas educativas.
- Mejora de los recursos educativos: Invertir en la actualización y el equipamiento de laboratorios y aulas de ciencias. Facilitar el acceso a materiales didácticos actualizados y a recursos digitales que complementen la enseñanza tradicional.
- Vinculación de contenidos con la vida cotidiana: Relacionar los conceptos de física y química con situaciones y problemas del mundo real para mostrar su relevancia y utilidad. Promover proyectos y actividades extracurriculares que despierten el interés y la curiosidad de los estudiantes por las ciencias.
- Evaluación formativa: Implementar métodos de evaluación formativa que valoren el proceso de aprendizaje y no solo los resultados finales. Utilizar evaluaciones prácticas y proyectos como parte integral del sistema de evaluación para fomentar una comprensión más profunda de los conceptos.

Estos aspectos resaltan la importancia de abordar tanto las dificultades como las oportunidades en la enseñanza de la física y la química para mejorar la comprensión y el interés de los estudiantes en estas disciplinas.

2.2.2 Dificultades en el concepto del sonido

En este apartado, analizaremos las dificultades de aprendizaje que enfrentan los estudiantes de secundaria en relación con el sonido.

Una investigación relevante en este campo es la llevada a cabo por Saura y de Pro (1999), que se enfoca en los esquemas conceptuales con los que los estudiantes interpretan el sonido. Este estudio muestra que los alumnos frecuentemente confunden las ondas con los generadores de las mismas, como antenas, emisoras o cuerdas vocales, y tienen dificultades para distinguir entre onda, emisor y receptor. Además, muchos no comprenden el significado científico del concepto de timbre, aunque algunos poseen experiencias previas que podrían ser aprovechadas didácticamente.

También se observa una confusión en la terminología, particularmente entre términos como período y frecuencia, longitud de onda y frecuencia, o longitud de onda y amplitud. A menudo, los estudiantes identifican erróneamente la longitud de onda con el alcance o la frecuencia con la sintonía de la radio. Además, tienden a establecer relaciones incorrectas entre variables, como la velocidad de propagación y la amplitud. En general, no reconocen la necesidad de un medio para la propagación del sonido ni que la velocidad de propagación dependa de la resistencia del medio, lo que refleja una concepción corpuscular del sonido. Asimismo, creen que la propagación del sonido tiene una dirección privilegiada, del emisor al receptor, y limitan su comprensión de las ondas a las transversales y materiales.

Según Perales (1994), al igual que con la luz, el sonido suele ser identificado por su causa y efectos, es decir, por su emisión y detección posterior, aunque también puede ser identificado por su propagación, lo que representa un avance respecto a la luz. En su artículo "Escuchando el sonido" (1997), Perales señala que los estudiantes tienden a asociar la contaminación con el ruido y muestran confusión en temas relacionados con la velocidad de propagación y el eco, influenciados por sus experiencias personales con estos fenómenos.

Por lo tanto, algunas de las concepciones más comunes que tienen los estudiantes sobre las ondas y el sonido son:

- Asocian las ondas con objetos visibles o invisibles.
- Consideran que la forma de las ondas es una característica importante, lo que dificulta su comprensión de los fenómenos ondulatorios en manifestaciones no visuales.
- Tienen dificultades con el vocabulario relacionado con las ondas, confundiendo términos como perturbación y propagación, o frecuencia y su relación con la radio.
- No logran establecer relaciones claras entre las cualidades de un sonido y las características de las ondas.
- No consideran necesario que exista un medio para la propagación del sonido.
- Creen que la velocidad de propagación depende de la resistencia del medio, reflejando una concepción corpuscular del sonido.

En conclusión, los estudiantes de secundaria enfrentan diversas dificultades al aprender sobre el sonido, principalmente debido a confusiones conceptuales y terminológicas. La investigación de Saura y de Pro (1999) revela que muchos alumnos no pueden distinguir claramente entre las ondas

y sus generadores, como antenas o cuerdas vocales, ni entre los conceptos de onda, emisor y receptor. Este malentendido se extiende a la terminología científica, donde conceptos como período, frecuencia y longitud de onda son comúnmente confundidos. Además, los estudiantes tienden a tener una visión corpuscular del sonido, no reconociendo la necesidad de un medio para su propagación y creyendo incorrectamente que la velocidad del sonido depende de la resistencia del medio. Perales (1994, 1997) también destaca que las experiencias personales y las concepciones previas de los estudiantes, como asociar la contaminación con el ruido, influyen negativamente en su comprensión de la velocidad de propagación y el eco. Para superar estas barreras, es esencial que los educadores identifiquen y aborden estas concepciones erróneas, utilizando métodos pedagógicos que fomenten una comprensión más precisa y profunda de los fenómenos sonoros.

3. Planificación de la intervención en el aula

3.1 Metodología

Los métodos de aprendizaje se comprenden como una serie de procesos formativos que engloban y configuran una acción educativa integral, orientando, tanto la adquisición de conocimientos, como el desarrollo de habilidades y competencias. El método tradicionalmente más utilizado es el expositivo, conocido comúnmente como la clase magistral. Este método ha demostrado ser útil y eficaz cuando se implementa de manera adecuada. Consiste en una exposición lineal y coherente de contenidos, a lo largo de la cual se integran actividades prácticas, debates y evaluaciones. Estas actividades complementarias aseguran no solo la transmisión de conocimientos, sino también el desarrollo de destrezas y la consolidación del aprendizaje.

No obstante, más allá del método expositivo, existen otros enfoques metodológicos diseñados para estructurar de manera completa una acción formativa, desde el inicio hasta el final. Estos métodos alternativos están diseñados con el objetivo de incrementar el interés de los alumnos y fomentar su compromiso activo con el proceso de aprendizaje. Son formas de planificar y ejecutar cursos enteros, módulos específicos o unidades dentro de un módulo, y cada uno de ellos se organiza en función de los objetivos de aprendizaje establecidos al comienzo.

Cada método alternativo organiza y da sentido a los contenidos, actividades y evaluaciones que constituyen la acción formativa de una manera diferente. Al igual que el método expositivo, estos

métodos parten de los objetivos de aprendizaje iniciales, pero se distinguen por su enfoque particular en la disposición de los elementos educativos y la interacción que fomentan entre los estudiantes y el material de estudio.

A continuación, se describen en detalle diferentes métodos de aprendizaje, cada uno con sus características distintivas y su enfoque único en la estructuración de la acción formativa:

- Aprendizaje por indagación: El Aprendizaje por Indagación es un enfoque pedagógico que requiere que los estudiantes piensen de manera sistemática y realicen investigaciones para encontrar soluciones razonables a un problema. Este método se centra en el estudiante y se basa en la exploración de problemas, no en las soluciones predefinidas, fomentando la colaboración entre los estudiantes.
- Aprendizaje Basado en Problemas (ABP): El Aprendizaje Basado en Problemas (ABP) es una estrategia educativa que promueve la enseñanza contextualizada. En este método, el facilitador presenta a los estudiantes un problema real y relevante. Los estudiantes deben resolver este problema, lo que implica que construyan su propio conocimiento y realicen diversas actividades para encontrar una solución efectiva.
- Aprendizaje Basado en Proyectos: El Aprendizaje Basado en Proyectos sitúa a los estudiantes en el centro del proceso de aprendizaje mediante un enfoque altamente motivador. Este método implica el intercambio de ideas, la colaboración y la realización de tareas prácticas. Las clases teóricas complementan este enfoque con explicaciones magistrales apoyadas por presentaciones y videos.
- Aprendizaje Basado en el Análisis y discusión de Casos (ABAC): El Aprendizaje Basado en el Análisis y Discusión de Casos (ABAC) es una estrategia de enseñanza contextualizada que implica presentar un caso a los alumnos para que lo analicen y discutan, primero en pequeños grupos y luego en toda la clase. Este método se desarrolla en tres fases importantes: la preparación del caso, el análisis cooperativo en grupos y la discusión final en grupo-clase.
- Modelización: La modelización en el aprendizaje consiste en desarrollar una serie de modelos mentales por parte de los estudiantes, a través de cuatro etapas clave: la creación de un modelo mental basado en ideas previas, la representación del modelo mediante dibujos, esquemas, ecuaciones o maquetas, la validación del modelo (ya sea empíricamente o mentalmente), y la evaluación del alcance y las limitaciones del modelo elaborado.

- Ambientes de aprendizaje enriquecidos por TIC: Los ambientes de aprendizaje enriquecidos con Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) ofrecen nuevas formas para que los educadores enseñen y reflexionen sobre su práctica educativa. Estos ambientes permiten empoderar a los estudiantes en el uso de tecnología para mejorar el proceso de aprendizaje, promoviendo un alto nivel de interacción y posibilitando un aprendizaje activo.

Elegimos el aprendizaje basado en indagación (ABI), porque puede mejorar significativamente la comprensión y el interés en la Física, debido a que es una estrategia eficaz para la enseñanza de dicha materia. Este enfoque se fundamenta en la teoría constructivista, donde los estudiantes son activos en su aprendizaje, formulando preguntas, investigando y construyendo su propio conocimiento. ABI promueve habilidades críticas y analíticas, en contraste con métodos tradicionales donde los estudiantes reciben información de manera pasiva.

3.2 Objetivos de la unidad didáctica

- Comprender la naturaleza del sonido: Qué es, cómo se genera, se propaga y se percibe.
- Analizar las propiedades del sonido: Frecuencia, longitud de onda, amplitud, velocidad, etc.
- Explorar las aplicaciones del sonido a través de la indagación: En la tecnología, la medicina, la música y otros campos.
- Desarrollar habilidades experimentales: Realización de experimentos prácticos y análisis de datos.
- Contextualizar la unidad didáctica con el currículum de bachillerato de la comunidad de Castilla y León en la asignatura de Física de segundo curso de bachillerato

3.3 Marco Teórico

1. Las ondas

El **sonido**, las ondas sísmicas, las ondas en el agua o en otro medio material, etc. presentan un denominador común: la propagación de una perturbación en la que no hay transporte neto de materia. Todos ellos son ejemplos de movimientos ondulatorios que favorecen la propagación de la perturbación.

Un movimiento ondulatorio es una forma de transmisión de energía sin transporte neto de materia, mediante la propagación de una perturbación de alguna magnitud física a través del espacio. A esta perturbación se le denomina onda.

1.1 Tipos de ondas

Los movimientos ondulatorios pueden clasificarse según su naturaleza, su dirección de propagación o el número de dimensiones de propagación.

- Ondas según su naturaleza: Pueden ser mecánicas o electromagnéticas.
 - Las ondas mecánicas propagan una perturbación de tipo mecánico (un golpe, una vibración, etc.) y requieren, por tanto, de un medio material elástico (aire, agua, una cuerda, ...) por el que se transmita la energía mecánica de la onda. El **sonido** y las ondas en cuerdas, en muelles o en la superficie del agua son ejemplos de este tipo de ondas.
 - Las ondas electromagnéticas son la transmisión de energía electromagnética mediante la propagación de dos campos oscilatorios, el eléctrico y el magnético, que no necesita un medio material para propagarse, es decir, son capaces de transmitirse a través del vacío. La **luz** es un ejemplo de onda electromagnética. Por ejemplo, si las ondas electromagnéticas que se producen en el sol no se propagaran en el vacío, no veríamos sus efectos y, por tanto, no habría vida en la Tierra.
- Ondas según su dirección de propagación. Pueden ser longitudinales y transversales.
 - Las ondas longitudinales son aquellas en las que la dirección de vibración coincide o es paralela a la dirección de propagación. Son ejemplos de este tipo de ondas las ondas sísmicas P, las **ondas sonoras** y las ondas que se propagan en un muelle cuando se desplaza un trozo de este a lo largo de su longitud.
 - Las ondas transversales son aquellas en las que la dirección de propagación y la de vibración provocada en las partículas del medio perturbado son perpendiculares entre sí. Se pueden entender como una sucesión de crestas (máximos) y valles (mínimos). Ejemplos de ondas transversales: las **ondas electromagnéticas**, las olas y las ondas sísmicas S.

- A veces se producen ondas que resultan de ambos tipos. Por ejemplo, las ondas que se propagan en la superficie del mar debido al viento son la suma de una onda transversal y de una longitudinal, por lo que las partículas de agua (o un objeto situado sobre ella) describen una trayectoria circular al ser alcanzadas por las olas.
- Ondas según el número de dimensiones de propagación. Pueden ser unidimensionales, si la energía se propaga en una dimensión, como, por ejemplo, la propagación en una cuerda; bidimensionales, si la energía se propaga en dos dimensiones (un plano), como, por ejemplo, las ondas que se propagan en la superficie del mar, o tridimensionales como son la **luz** y el **sonido**, donde la energía se propaga en tres dimensiones.

En definitiva, las ondas sonoras son ondas mecánicas, longitudinales y tridimensionales mientras que la luz es una onda electromagnética, transversal y tridimensional.

2. Propagación de las ondas.

Un medio en el que la onda se propaga sin disipar energía se denomina medio perfectamente elástico. Aunque se supondrá esta aproximación en muchos ejemplos, en realidad no existe ningún medio material ideal y, por tanto, las ondas se amortiguan al propagarse.

2.1 Velocidad de propagación

Las ondas se propagan de una forma determinada, la cual depende de las propiedades del medio: elasticidad y rigidez. Si las propiedades de este no varían, la velocidad es constante.

La velocidad de propagación o velocidad de fase de una onda es la velocidad a la que avanza la perturbación en un medio. Es decir, es la distancia a la que se transmite la onda dividida por el tiempo que se emplea en ello

La velocidad de determinadas ondas puede obtenerse experimentalmente. En general influyen dos factores, uno relacionado con las propiedades elásticas del medio y otro con las propiedades inerciales. La tabla muestra las velocidades de varios tipos de ondas.

Velocidad de propagación	Ecuación de velocidad	Magnitudes
Ondas transversales en una cuerda	$v = \sqrt{\frac{T}{\mu}}$	T : Tensión a la que se ve sometida μ : Masa por unidad de longitud
Ondas longitudinales (como el sonido) en un muelle	$v = L \sqrt{\frac{k}{m}}$	L : Longitud del muelle k : constante elástica m : masa
Ondas longitudinales (como el sonido) en un sólido	$v = \sqrt{\frac{Y}{\rho}}$	Y : Módulo de Young, que depende del coeficiente de elasticidad del sólido L : Longitud del muelle
Del sonido en un líquido	$v = \sqrt{\frac{Q}{d}}$	Q : Módulo de compresibilidad del líquido d : densidad del líquido
Del sonido en un gas	$v = \sqrt{\frac{\gamma P}{d}}$ $= \sqrt{\frac{\gamma RT}{M}}$	γ : Coeficiente adiabático del gas (para el aire, 1.4) R : constante universal de los gases = $8,31 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$ T : temperatura absoluta M : Masa molar del gas d : densidad del gas
Ondas electromagnéticas	$c = \frac{1}{\sqrt{\mu\epsilon}}$	μ : Permeabilidad magnética ϵ : Constante dieléctrica

2.2 Magnitudes características de las ondas

La onda tiene una doble periodicidad: una periodicidad temporal (caracterizada por el periodo) y una periodicidad espacial (caracterizada por la longitud de onda):

Las ondas se caracterizan por magnitudes que las diferencian de las partículas materiales:

- La longitud de onda (λ) es la distancia mínima entre dos puntos consecutivos en igual estado de vibración. Su unidad en el Sistema Internacional es el metro, m.

- El periodo (T) es el tiempo entre dos estados idénticos y sucesivos de la perturbación en un punto del medio. Es, por tanto, el tiempo requerido para un ciclo completo de movimiento. Su unidad en el Sistema Internacional es el segundo, s
- La frecuencia (ν) de una onda es el número de ciclos de movimiento que se efectúan en la unidad de tiempo. Su valor es, por tanto, el inverso del periodo:

$$\nu = \frac{1}{T}$$

Su unidad en el Sistema Internacional es el hercio (Hz), igual a s^{-1} , que equivale a un ciclo o vibración por segundo.

- El avance de la onda es un movimiento uniforme, por tanto, la velocidad de propagación, la longitud de onda y el período están relacionados así:

$$v = \frac{\lambda}{T}$$

- El número de onda (k) es el número de longitudes de onda que hay en una distancia igual a 2π . Su unidad en el Sistema Internacional es m^{-1} :

$$k = \frac{2\pi}{\lambda}$$

- La fase de una onda (ϕ) es el ángulo que indica el estado de perturbación de los puntos alcanzados por la onda. Los puntos que se encuentran en idéntico estado de perturbación están en fase (la distancia entre ellos es igual a un número entero de longitudes de onda o a un número par de medias longitudes de onda). Los puntos separados por un número impar de medias longitudes de onda se dice que se hallan en oposición de fase.
- La amplitud de onda (A) es la máxima distancia que alcanza un punto que vibra debido al paso de una onda, medida desde su posición de equilibrio. Su unidad en el Sistema Internacional es el metro, m

Para una onda armónica, se puede relacionar el número de onda con la velocidad de propagación:

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{2\pi}{v/\nu} = \frac{2\pi\nu}{v} = \frac{\omega}{v}$$

3. Ondas armónicas

Llamamos ondas armónicas a las que tienen su origen en las perturbaciones periódicas producidas en un medio elástico por un movimiento armónico simple. Una onda es armónica cuando su variación espacial y temporal se puede expresar mediante funciones armónicas (senos o cosenos)

Dada la definición anterior, podemos escribir la expresión matemática de las ondas armónicas unidimensionales mediante la ecuación general siguiente:

$$y(x, t) = A \sin[\omega t \pm kx + \varphi_0]$$

Para una onda que se desplaza en el sentido positivo se utiliza el signo (-); si lo hace en sentido negativo se utiliza el signo (+)

La ecuación de una armónica también puede expresarse en función del coseno. La única variación respecto a la expresión anterior se encuentra, en este caso, en el término constante de la fase inicial, φ_0 .

La ecuación también puede expresarse en función del periodo y la longitud de onda:

$$y(x, t) = A \sin \left[2\pi \left(\frac{t}{T} \pm \frac{x}{\lambda} \right) + \varphi_0 \right]$$

4. Aspectos energéticos del movimiento ondulatorio

Para generar un movimiento ondulatorio es necesario que el foco emisor proporcione continuamente energía al medio de propagación. La energía transferida por un movimiento ondulatorio en el caso de una onda armónica que se propaga por un medio ideal sin pérdidas de energía es la de vibración de un oscilador armónico de masa m en el punto en el que se ha originado la perturbación.

$$E = \frac{1}{2} K A^2 = \frac{1}{2} m \omega^2 A^2 = 2m\pi^2 v^2 A^2$$

La **energía transferida** por una onda armónica es proporcional al cuadrado de la amplitud de la onda y al cuadrado de la frecuencia

4.1 Intensidad y potencia de una onda

La onda sobre la cuerda mantiene una amplitud constante, sin embargo, las ondas sonoras o las luminosas se dispersan en las tres dimensiones del espacio. Por tanto, dado que se conserva la energía, su amplitud debe disminuir al alejarse de la fuente.

El frente de onda es el lugar geométrico de los puntos que, en un instante concreto, se encuentran en idéntico estado de vibración, es decir, tienen la misma fase:

- Si la onda se propaga en una dimensión, el frente de onda es un punto.
- Una onda en la superficie de un estanque tiene un frente de onda circular.

- El frente de onda del sonido es una superficie esférica con centro en el foco de la onda

La dirección de propagación de las ondas es perpendicular al frente de ondas y su velocidad es la misma en todas las direcciones radiales. Para describir la dispersión de una onda en tres dimensiones, es más útil relacionar la potencia de la fuente y la intensidad de la onda.

La intensidad, I , de una onda en un punto es la energía que atraviesa, en cada unidad de tiempo, una superficie unidad situada perpendicularmente a la dirección de propagación de la onda.

$$I = \frac{E}{St} = \frac{P}{S}$$

Donde P es la potencia emisiva del foco de la onda, es decir, la energía producida en el intervalo de tiempo que dure la emisión. En el SI, la intensidad se expresa en $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$. Para un frente de onda esférico,

$$I = \frac{P}{S} = \frac{P}{4\pi r^2}$$

Si la potencia de la fuente es constante, la intensidad decrece con el inverso de la distancia al cuadrado: si se consideran dos puntos a distancias r_1 y r_2 de la fuente como:

$$I = \frac{P}{4\pi r_1^2} \quad \square \quad I = \frac{P}{4\pi r_2^2}$$

Donde se puede observar que la intensidad es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia al foco ya que se cumple la relación:

$$I_1 \cdot r_1^2 = I_2 \cdot r_2^2$$

4.2 Amortiguación de ondas.

Los frentes de onda producidos por la caída de un objeto en un estanque con agua se van haciendo más pequeños a medida que la distancia al foco aumenta: la onda se ha amortiguado. La **amortiguación** de una onda se debe a dos causas: la atenuación geométrica y la absorción.

4.2.1 Atenuación:

La atenuación es un fenómeno relacionado con la forma en que se distribuyen la energía en los frentes de onda.

El hecho de que la intensidad de un frente de onda esférico sea inversamente proporcional al cuadrado de la distancia hasta el foco, produce una atenuación de estas ondas, es decir, una disminución natural de la energía que alcanza cada partícula

La energía es proporcional al cuadrado de la amplitud y al cuadrado de la frecuencia, por tanto, la intensidad también lo será. Como la frecuencia de la onda se mantiene constante, se cumple que

$$\frac{I_2}{I_1} = \frac{kA_2^2}{kA_1^2} = \frac{P/(4\pi r_2^2)}{P/(4\pi r_1^2)} = \frac{r_1^2}{r_2^2}$$

$$\frac{I_2}{I_1} = \frac{A_2^2}{A_1^2} \quad \square \quad \frac{I_2}{I_1} = \frac{r_1^2}{r_2^2} \quad \square \quad \frac{A_2}{A_1} = \frac{r_2}{r_1}$$

La amplitud de una onda esférica disminuye con la distancia.

4.2.2 Absorción:

La absorción es el fenómeno por el cual la intensidad de una onda disminuye debido a los efectos disipativos del medio, que provocan la reducción de la energía que transporta.

Se puede demostrar que la intensidad de una onda decrece exponencialmente con la distancia respecto al foco emisor, según la siguiente expresión:

$$I = I_0 e^{-\beta x}$$

En el que β es el coeficiente de absorción del medio. Ese coeficiente depende del medio de propagación de las ondas: si se trata de un medio perfectamente elástico, $\beta=0$ y no hay absorción.

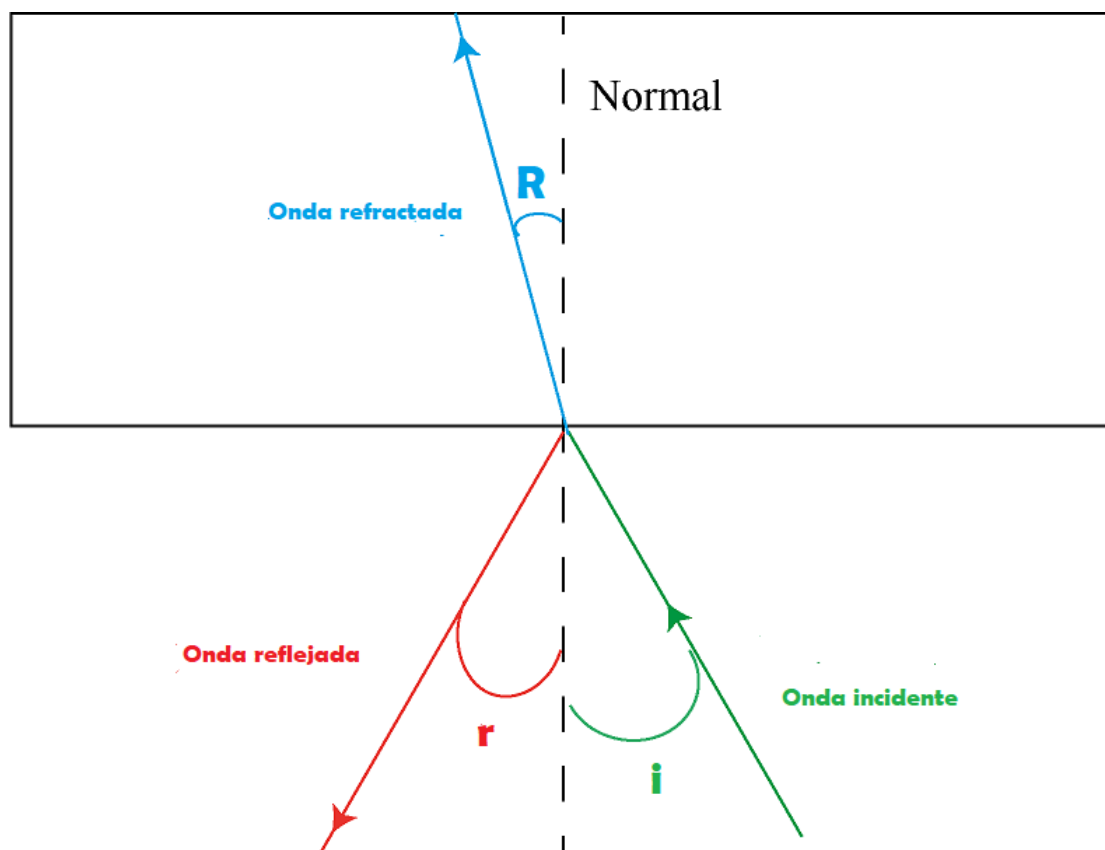
Una absorción muy grande puede conducir a la anulación de la onda. En diversas situaciones se busca una gran absorción de las ondas. Por ejemplo, en los recubrimientos para **aislar acústicamente viviendas y/o salas de conciertos**, para sonidos de 500 Hz el corcho tiene un coeficiente de absorción de 0,85 y la espuma de poliuretano llega hasta 0,99.

5. Principio de Huygens

Principio de Huygens: Todo punto de un frente de onda se convierte en una fuente de nuevas ondas elementales, de igual velocidad y frecuencia que la onda inicial, cuya superficie envolvente constituye el nuevo frente de onda.

Cuando un movimiento ondulatorio llega a la superficie que separa dos medios materiales de distinta naturaleza, ocurren dos fenómenos: por un lado, una parte de la energía es reflejada y la onda continúa su propagación de nuevo por el medio material de origen; la otra parte de la energía es transportada al otro lado de la frontera divisoria y la onda se propaga también por el segundo medio.

Los dos fenómenos ondulatorios que se producen se denominan reflexión y refracción de la onda, respectivamente. Ambos fenómenos y las leyes que los rigen pueden interpretarse con el principio de Huygens.



5.1 La reflexión de las ondas y sus leyes.

La reflexión de las ondas consiste en el cambio de la dirección de propagación al incidir la onda en el límite de separación de dos medios diferentes; después de la reflexión la onda continúa su propagación en el mismo medio.

Se cumplen estas leyes para la reflexión

- La dirección de la onda incidente (rayo incidente), de la onda reflejada (rayo reflejado) y la normal a la superficie están en el mismo plano.

- El ángulo de incidencia, \hat{i} , y el ángulo de reflexión, \hat{r} , son iguales $\hat{i} = \hat{r}$.

5.2 La refracción de las ondas y sus leyes.

La refracción de las ondas consiste en el cambio de la dirección de propagación de la onda cuando esta pasa de un medio donde viaja con velocidad v_1 a otro donde su velocidad, v_2 , es distinta.

Para el fenómeno de refracción se cumplen las siguientes leyes:

- La dirección de incidencia de las ondas, la dirección de salida y la normal a la superficie de separación entre ambos medios están en un mismo plano.
- La relación entre el seno del ángulo de incidencia, y el ángulo de refracción es igual a la razón entre las velocidades v_1 y v_2 de propagación en ambos medios (ley de Snell).

$$\frac{\sin \hat{i}}{\sin \hat{R}} = \frac{v_1}{v_2}$$

La relación anterior había sido deducida por Willebrord Snel en 1620, con anterioridad al enunciado de Huygens.

6. Ondas estacionarias

Las ondas estacionarias son ondas que parece que no avanzan. Se producen en muchos instrumentos de cuerda y viento. Las ondas estacionarias se forman al interferir dos ondas de igual amplitud y frecuencia, que se propagan en la misma dirección, pero en sentidos contrarios. Por ejemplo, se pueden producir con la superposición de una onda progresiva y su propia onda reflejada que regresa en sentido contrario tras llegar al límite de un medio.

6.1 Ecuación de una onda estacionaria.

Para el estudio, se considerará una onda que viaja hacia la derecha por el eje X.

$$y_1(x, t) = A \sin(\omega t - kx)$$

Esta onda se refleja en el extremo de una cuerda. La onda reflejada, en la que se ha producido un cambio de fase en el extremo fijo de la derecha, se desplaza en sentido negativo:

$$y_2(x, t) = -A \sin(\omega t + kx)$$

La superposición de ambas ondas produce la onda estacionaria en la cuerda:

$$y = y_1 + y_2 = A[\sin(\omega t - kx) - \sin(\omega t + kx)] = -2A \sin kx \cos \omega t$$

La **ecuación de onda estacionaria** se puede escribir como $y = A_r \cos \omega t$, donde la amplitud resultante viene dada por el término $A_r = |-2A \sin kx|$

La onda estacionaria es armónica, de igual frecuencia que las componentes y con una amplitud independiente del tiempo, pero dependiente de la posición. Hay puntos donde las partículas nunca oscilan, los **nodos**, y otros donde la amplitud es máxima, los **vientres**.

El resto de las partículas oscilan como si se tratase de un conjunto de osciladores armónicos fijos en cada punto, cada uno con una amplitud determinada por su posición. Por esta causa, el perfil de la onda no se desplaza, es decir, es estacionario. Como consecuencia, una onda estacionaria no transporta energía neta de unos puntos a otros.

Los **nodos** se encuentran en todos los puntos cuya abscisa cumple:

$$\sin kx = 0 \rightarrow kx = n\pi \rightarrow x = n \frac{\lambda}{2}, \quad \text{con } n = 0, 1, 2, 3, \dots$$

Los **vientres** se encuentran en aquellos puntos cuya abscisa cumple:

$$\sin kx = \pm 1 \rightarrow kx = (2n + 1) \frac{\pi}{2} \rightarrow x = (2n + 1) \frac{\lambda}{4}, \quad \text{con } n = 0, 1, 2, 3, \dots$$

6.2 Aplicaciones a instrumentos de cuerda

Los instrumentos de cuerda, como la guitarra, el violín y el piano, tienen los extremos de sus cuerdas fijos. Por ello, cada cuerda solo puede vibrar con unas frecuencias concretas. A cada una de estas posibles formas de vibrar se le denomina modo de vibración o **frecuencias propias** de la cuerda. La más baja se llama **frecuencia fundamental** y las demás se denominan **armónicos**.

Si la longitud de la cuerda es L , se cumple:

$$L = n \cdot \frac{\lambda}{2} \rightarrow \lambda = \frac{2L}{n}$$

$$v = \frac{v}{\lambda} = \frac{nv}{2L} \quad \text{con } n = 1, 2, 3, \dots$$

Por ejemplo, una guitarra tiene varias cuerdas de la misma longitud fijas en sus dos extremos. Cada cuerda posee una densidad de masa lineal y una tensión diferentes, que definen la velocidad de la onda producida ($v = \sqrt{T/\mu}$). Se entiende entonces que la velocidad de la onda es diferente para

cada cuerda. Como la frecuencia fundamental de una cuerda fija en sus extremos es $\nu = v/2L$, las diferentes cuerdas también generan notas diferentes.

A su vez, se puede cambiar la “longitud eficaz” de las cuerdas apoyando los dedos sobre el mástil, y así es posible obtener varias notas con la misma cuerda. Para afinar, se modifica la tensión de las cuerdas girando las clavijas hasta lograr la frecuencia deseada.

Un violín se basa en el mismo principio de la guitarra, con la diferencia de que las cuerdas se hacen vibrar con un arco en vez de con un rasgado. El piano también posee cuerdas de diferentes longitudes para cada nota, pero, en este caso, son golpeadas por un martillo accionado al tocar las teclas.

6.3 Ondas estacionarias en tubos

6.3.1 Tubos abiertos en los dos extremos

La relación entre la longitud del tubo L y la longitud de la onda es:

$$\lambda = \frac{2L}{n} \rightarrow L = n \frac{\lambda}{2} \quad n = 1, 2, 3, \dots$$

La frecuencia de los armónicos es:

$$\nu = \frac{nv}{2L}$$

6.3.2 Tubos abiertos en los dos extremos

La relación entre la longitud del tubo L y la longitud de la onda es:

$$\lambda = \frac{4L}{(2n + 1)} \rightarrow L = (2n + 1) \frac{\lambda}{4} \quad n = 1, 2, 3, \dots$$

La frecuencia de los armónicos es:

$$\nu = \frac{v}{4L} (2n + 1)$$

7. El sonido.

El **sonido** es una vibración o perturbación mecánica originada por un objeto que vibra, que se propaga por un medio material elástico gaseoso, líquido o sólido en forma de ondas longitudinales.

El objeto vibrante puede ser una cuerda de una guitarra, las cuerdas vocales, la vibración de una campana, el diafragma de un altavoz, etc.

Las **ondas sonoras** consisten en compresiones y dilataciones del medio producidas por un foco con un movimiento vibratorio.

Las compresiones y dilataciones del medio material llegan al oído y la vibración es transmitida a través de estructuras óseas internas, provocando una reacción en el nervio auditivo. Esto da lugar al **proceso de audición**.

El canal auditivo actúa como resonador, amplificando las frecuencias. Las ondas sonoras se transmiten al tímpano, cuya membrana vibra. Esta vibración se transmite y amplifica por medio de los huesecillos de oído medio, llega al oído interno y, tras pasar por los líquidos que existen en la cóclea, alcanza el oído interno, donde deforma las células ciliadas. Con estas deformaciones, las ondas sonoras mecánicas se transforman en impulsos nerviosos que, a través del nervio auditivo, acceden al cerebro.

El oído interno contiene fibras de diferente longitud con frecuencias propias comprendidas entre unos 20 Hz y 20 kHz. Cuando una onda sonora alcanza uno de esos valores, las fibras comienzan a vibrar, pues su frecuencia natural es igual a la del sonido. Por ello el oído humano solo percibe sonidos cuya frecuencia está comprendida en este intervalo.

7.1 Cualidades del sonido

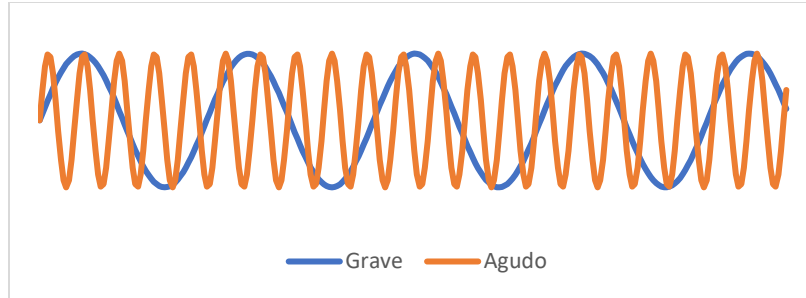
Existen tres cualidades del sonido que permiten relacionar los parámetros físicos de las ondas con la percepción del sonido: el **tono**, la **intensidad sonora** y el **timbre**.

Tono

El tono o altura permite distinguir entre sonidos graves y agudos. Está relacionado con la frecuencia de vibración de la fuente sonora y, por lo tanto, de las compresiones y enrarecimientos que el oído percibe por segundo.

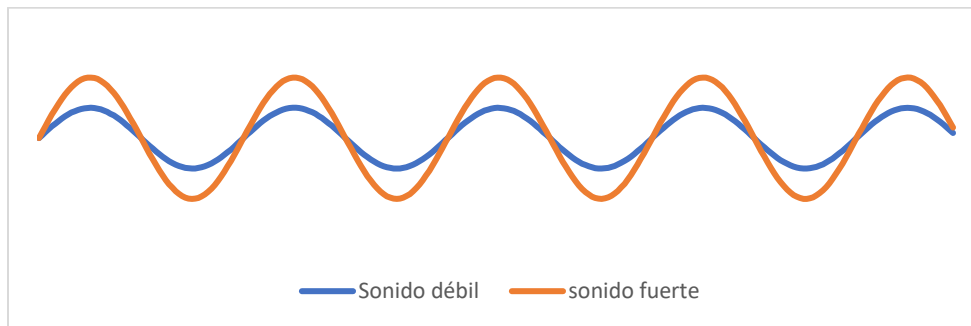
Los sonidos graves o tonos bajos corresponden a las ondas de baja frecuencia (pocas vibraciones por segundo) Los sonidos agudos o tonos altos corresponden a ondas de mayor frecuencia (gran número de vibraciones por segundo).

Esta cualidad permite distinguir las diferentes notas que emite un instrumento música.



Intensidad sonora

La intensidad sonora permite calificar a un sonido como fuerte o débil. Está relacionado con la amplitud de la onda: los sonidos fuertes se corresponden con amplitudes grandes y los débiles, con amplitudes pequeñas.



La intensidad sonora presenta dos aspectos bien diferenciados: la intensidad física u objetiva, es decir, el volumen acústico, y la intensidad fisiológica o subjetiva:

- La intensidad física es la energía que transmite la onda sonora por unidad de tiempo a través de la unidad de superficie perpendicular a la dirección de propagación
- La intensidad fisiológica es la sensación sonora de mayor o menor intensidad que percibe el oído humano

Para que el oído humano capte un sonido de una frecuencia de 1000 Hz, la intensidad mínima de la onda debe ser al menos $I_0 = 1,0 \cdot 10^{-12} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$. A esa intensidad se la denomina umbral de audición. Si la intensidad llega hasta $1 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$, se alcanza el umbral del dolor.

Esta intensidad sonora está relacionada con el nivel de intensidad sonora o sensación sonora en una escala logarítmica. Mientras que la intensidad sonora se mide en $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$, el nivel de intensidad sonora se mide en decibelios dB:

$$\beta = 10 \log \frac{I}{I_0}$$

Timbre.

El **timbre** hace posible distinguir sonidos de la misma frecuencia y la misma amplitud, producidos por distintas fuentes: personas, instrumentos, etc. Está relacionado con la forma de la onda sonora. Por ejemplo, permite al oído humano diferenciar notas iguales emitidas por distintos instrumentos. Si se exceptúa el diapasón, las ondas sonoras producidas no son perfectamente sinusoidales. En realidad, son el resultado de varios movimientos periódicos, denominados armónicos, superpuestos a la onda fundamental. La intensidad de cada armónico que acompaña al sonido fundamental varía de un foco emisor a otro. El oído percibe la onda que resulta de sumar la onda principal y sus armónicos, y que es característica del instrumento.

7.2 Sensación sonora.

La sensación sonora, también llamada nivel de intensidad sonora o sonoridad, es una medida subjetiva de la intensidad del sonido y, por tanto, es una magnitud sensorial. Por otra parte, la intensidad de una onda es una magnitud objetiva.

7.3 Contaminación acústica.

La contaminación acústica se define como la presencia de ruidos o vibraciones en el ambiente, independientemente del origen del emisor acústico, que causan molestias, riesgos o daños a las personas, afectan el desarrollo de sus actividades, deterioran bienes materiales o provocan efectos significativos en el medio ambiente.

A diferencia de otros tipos de contaminación, la acústica tiene características particulares: se genera con poca energía, no deja residuos y, aunque no se desplaza a través de sistemas naturales, puede tener un efecto acumulativo en los seres humanos, produciendo secuelas. Además, se percibe únicamente a través del oído y suele estar localizada en espacios específicos.

Las principales fuentes de contaminación acústica son la maquinaria industrial (compresores, extractores, maquinaria pesada), el transporte (vehículos, aviones, trenes), las actividades de construcción, eventos sociales (fiestas, bares, música al aire libre, eventos deportivos) y algunas tareas domésticas (uso de aspiradoras, lavadoras).

7.3.1 Efectos de la contaminación acústica.

Los efectos de la contaminación acústica pueden ser:

- Problemas de audición:
 - A partir de 120 dB se alcanza el umbral del dolor.
 - Con la edad, disminuye el límite superior de las frecuencias audibles (sonidos agudos): una persona de 70 años puede no escuchar sonidos por encima de 8000 Hz.
 - La exposición frecuente a ruidos superiores a 100 dB puede reducir el límite superior de frecuencias audibles.
- Problemas de salud: Niveles altos de ruido pueden causar cefaleas, alteraciones del sistema nervioso, problemas cardiovasculares y aumento de la presión arterial.
- Problemas psicológicos: Trastornos del sueño, falta de concentración, disminución del rendimiento escolar, incomodidad, problemas de comunicación y disminución de la atención.
- Efectos sobre la fauna: Muchos animales tienen un sentido del oído más desarrollado que los humanos. Los problemas causados por el ruido pueden ser más graves y, en algunos casos, letales para ellos.

7.3.2 Medidas para Combatir la Contaminación Acústica

- Medidas preventivas: Actúan sobre las fuentes de ruido: uso de silenciadores en vehículos y maquinaria industrial, restricciones al tráfico en grandes ciudades, control de ruido en zonas de ocio, etc.
- Medidas paliativas: Amortiguan la propagación del sonido: insonorización de locales de ocio, uso de cascos antirruído, instalación de pantallas acústicas. Además, el control activo del ruido mediante la emisión de una onda en fase opuesta a la contaminante puede reducir su amplitud.
- Medidas educativas: Formación y concienciación ciudadana para fomentar una actitud favorable hacia la reducción de la contaminación sonora y el mantenimiento de un entorno saludable.

8. Aplicaciones tecnológicas del sonido.

Las ondas sonoras son audibles cuando su frecuencia está comprendida entre 20 Hz y 20 kHz. Si la frecuencia es superior al umbral de sensibilidad humana, se denominan **ultrasonidos** y, si es inferior, se llaman **infrasonidos**. Ambos tipos de ondas tienen numerosas aplicaciones.

Fruto de la reflexión ocurren diversos fenómenos, como la **reverberación** (permanencia de sonido una vez que la fuente sonora ha dejado de emitirlo) y el **eco**. Estos dos fenómenos, que pueden ser molestos para determinados experimentos si no son controlados, también han generado una gran cantidad de aplicaciones.

8.1 Aplicaciones de los ultrasonidos.

- **El sonar:** Es un instrumento basado en emisión, reflexión y detección de ultrasonidos. Un transmisor envía un pulso de sonido a través del agua y un detector recibe la reflexión o eco. Midiendo el tiempo transcurrido entre la emisión y recepción de las ondas, y conocida la velocidad de propagación del ultrasonido, se puede determinar la ubicación de arrecifes y barcos hundidos, la profundidad del mar o localizar bancos de peces.
- **Limpieza ultrasónica:** Las vibraciones ultrasónicas, con el líquido de limpieza adecuado, sirven para limpiar objetos delicados. La elevada energía de los ultrasonidos proporciona el empuje requerido para romper las uniones que se establecen entre las partículas muy pequeñas de suciedad y las superficies (fenómeno conocido como cavitación). Se emplean en la limpieza de joyas, lentes, relojes y en instrumentos quirúrgicos. La limpieza ultrasónica se utiliza también en la depuración del aire contaminado, al favorecer la precipitación de partículas pequeñas. Los aerosoles y la industria del automóvil también se sirven de este sistema.
- **Soldadura ultrasónica:** Es un proceso de soldadura en estado sólido, realizado mediante la aplicación de vibraciones de alta frecuencia mientras las piezas están siendo sujetadas a presión. Se usa para sellar explosivos, productos pirotécnicos o reactivos químicos que requieren de un sellado hermético pero que no soportan altas temperaturas. También para realizar soldaduras a escala microscópica
- **Aplicaciones en medicina:**
 - **Diagnóstico.** Las ondas ultrasónicas se utilizan en medicina para diagnosticar posibles dolencias. Los pulsos son producidos por un transmisor y dirigidos al

cuerpo. Al igual que ocurre con el sonar, se producen reflexiones. Esto ocurre cada vez que un pulso se encuentra en la superficie de separación de dos tejidos diferentes o entre un tejido y el fluido adyacente. Como las densidades son diferentes, la velocidad de propagación cambia al pasar de un tejido al otro. A través de un proceso de digitalización, se pueden obtener imágenes de los ecos generados por la anatomía interna y reconstruir la imagen.

- En la actualidad las **ecografías** son utilizadas para todo tipo de diagnósticos relacionados con el corazón o el riñón, y entre las más conocidas están las realizadas en obstetricia para examinar el estado del feto durante su desarrollo en el útero materno. Como el feto se encuentra rodeado por el saco amniótico, hay una clara diferencia respecto de otras características anatómicas, de manera que pueden detectarse el tamaño real, la posición y posibles malformaciones. Además, es una herramienta de diagnóstico no invasiva, esto es, que no introduce cuerpos extraños en el organismo.
- **Fines terapéuticos.** Los ultrasonidos se pueden utilizar más allá de la mera obtención de imágenes. En el campo terapéutico, interaccionan con los tejidos del cuerpo para que puedan ser modificados o destruidos. Pueden mover o empujar un tejido, calentarlo, disolver coágulos o administrar fármacos a sitios específicos en el cuerpo. Con el uso de ultrasonidos de alta frecuencia se pueden destruir los tejidos enfermos o anormales tales como tumores. Como ocurre en el campo del diagnóstico, también es una terapia no invasiva, con la que se evitan cortes e incisiones en la piel. Por ejemplo, se utilizan frecuencias de 23 kHz para eliminar tumores cerebrales sin dañar el tejido sano circundante o para eliminar células cancerígenas de la próstata, con una técnica de cirugía sin sangre.

9. Efecto Doppler

El sonido de una ambulancia o el de un camión de bomberos se escucha más agudo cuando se están acercando hacia nosotros que cuando están en reposo. De manera opuesta, cuando la ambulancia se aleja se escucha un sonido más grave que el anterior. Este fenómeno, que no se restringe al movimiento del emisor, fue descrito por Christian Doppler en 1843.

El efecto Doppler es un fenómeno ondulatorio que consiste en el cambio que experimenta la frecuencia con que percibimos un movimiento ondulatorio respecto de la frecuencia con la que ha sido originado, a causa del movimiento relativo entre la fuente y el receptor, es decir, la frecuencia percibida por el observador es distinta de la frecuencia emitida por el foco productor de ondas.

El movimiento relativo entre observador y foco se puede dar de diversas formas:

9.1 Observador en reposo y foco móvil:

Un foco en reposo emite sonidos con un periodo T . Cuando el foco se acerca con velocidad v_F hacia un observador en reposo, sigue emitiendo sonidos con el mismo periodo, y en ese tiempo se ha acercado al observador una distancia $v_F T$. Como consecuencia, la separación entre dos crestas ya no es la longitud de onda creada por el foco, sino una longitud de onda λ' que se ha acortado una distancia $v_F T$:

$$\lambda' = \lambda - v_F T$$

Si se denomina ν' a la frecuencia percibida por el observador en reposo, y se recuerda que $\nu' = v/\lambda'$, donde v es la velocidad del sonido, que no varía, se tiene:

$$\nu' = \frac{v}{\lambda'} = \frac{v}{\lambda - v_F T}$$

Cuando el foco está en reposo, $\lambda = vT = v/\nu$, donde ν es la frecuencia emitida por el foco. Sustituyendo en la expresión anterior se obtiene:

$$\nu' = \nu \cdot \frac{1}{1 - v_F/v} = \nu \cdot \frac{v}{v - v_F}$$

De forma análoga se llega a una expresión que refleja la situación inversa, en la que **el foco emisor se aleja con velocidad v_F del observador en reposo**. El observador percibe:

$$\nu' = \nu \cdot \frac{1}{1 + v_F/v} = \nu \cdot \frac{v}{v + v_F}$$

9.2 Observador móvil y foco en reposo.

Si el observador se acerca con velocidad v_O a un foco que emite ondas a la frecuencia ν , las cuales se propagan a la velocidad v , la frecuencia medida por el observador será

$$v' = v \left(1 + \frac{v_O}{v} \right)$$

Si el observador se aleja mide una frecuencia menor:

$$v' = v \left(1 - \frac{v_O}{v} \right)$$

9.3 Observador y foco móviles.

Si el observador y el foco se mueven aproximándose uno hacia otro con velocidades respectivas v_O y v_F , la frecuencia medida por el observador para un sonido de frecuencia v , y que se propagan a una velocidad v , es:

$$v' = v \left(\frac{v + v_O}{v - v_F} \right)$$

Si el observador y el foco se alejan, la frecuencia medida por el observador es:

$$v' = v \left(\frac{v - v_O}{v + v_F} \right)$$

3.4 Experimentos y experiencias

Experimento 1: El sonido mueve las partículas

Material:

1 bote o recipiente

Un altavoz conectado al móvil

Un globo

Tijeras

Sal



Objetivos:

Observar cómo el sonido se desplaza por un medio material y cómo por esta razón se mueven las partículas de sal encima del globo

Montaje experimental y procedimiento:



- 1º) Introducir el altavoz en el recipiente
- 2º) Cortar la boquilla del globo y retirar. Tapar el recipiente con el cuerpo del globo
- 3º) Colocar los granos de sal encima del globo
- 4º) Iniciar la música y observar. Hacerlo con varias intensidades diferentes.

Realización del experimento

En [este enlace](#) podemos ver un vídeo sobre este experimento

Experimento 2: Comprobar los niveles de intensidad sonora de diferentes situaciones

Material:

Teléfono móvil con app de sonómetro. Por ejemplo, phyphox entre sus herramientas de acústica la “amplitud de Audio”, aunque pueden ser otros

Objetivo

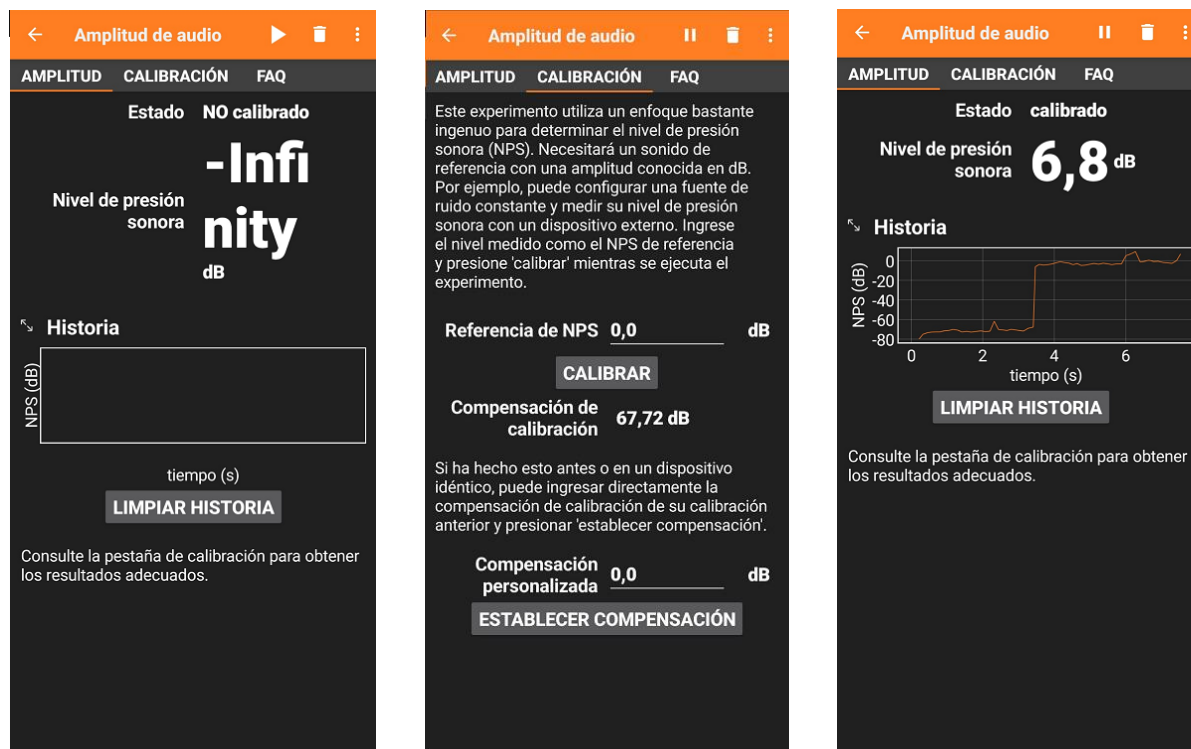
Comparar el nivel de intensidad sonora de diferentes situaciones

Procedimiento

Abrir phyphox y buscar amplitud de audio:



Para calibrar, ir a calibración, elegir Referencia de NPS 0,0 dB y compensación personalizada 0,0 dB, todo ello en silencio. Si ahora volvemos a amplitud y medimos seleccionando el triángulo de play, y permanecemos en silencio, veremos que la medida oscila, tomando valores positivos y negativos cercanos al cero. En caso de que no, volver a calibrar eligiendo Referencia de NPS 0,0 dB sin elegir compensación.



Medir con el sonómetro, dando al triángulo de play, el nivel de intensidad sonora de las siguientes situaciones:

- Una conversación normal
- Una conversación a gritos
- Una calle con tráfico intenso
- Una obra con maquinaria
- Una ambulancia que pasa
- ...

También se medirá como varía el nivel de intensidad sonora a distintas distancias de la fuente. Para ello, por un altavoz se emite un sonido con una sola frecuencia y a cierta distancia con el sonómetro se mide el nivel de intensidad sonora.

Experimento 3: Efecto Doppler

Material:

Teléfono móvil con app de phyphox y app de generador de frecuencias

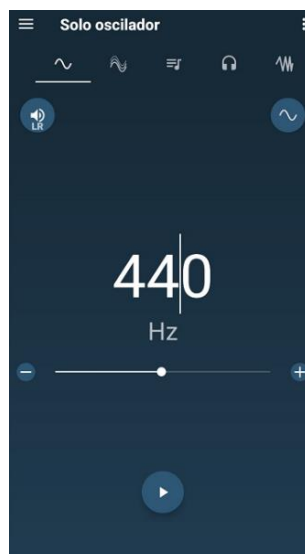
Altavoz móvil

Objetivo

Comprobar el efecto Doppler del cambio de frecuencia

Procedimiento

Poner el generador de frecuencias a una frecuencia determinada, por ejemplo 440 Hz, y hacer que salga por el altavoz.

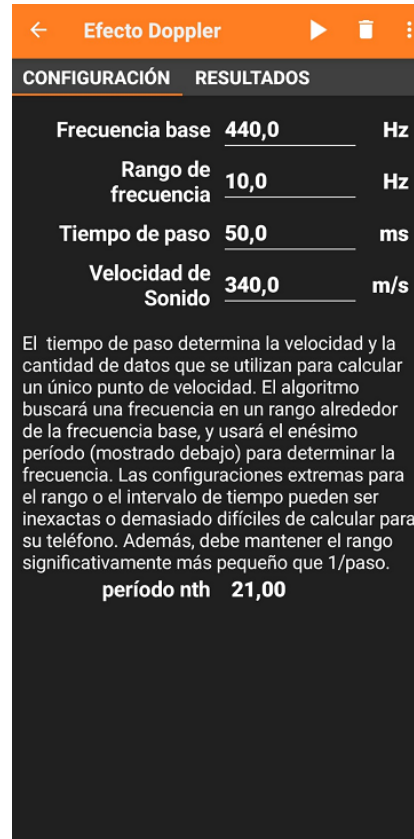


En el móvil, abrir la app phyphox y elegir la herramienta efecto Doppler.

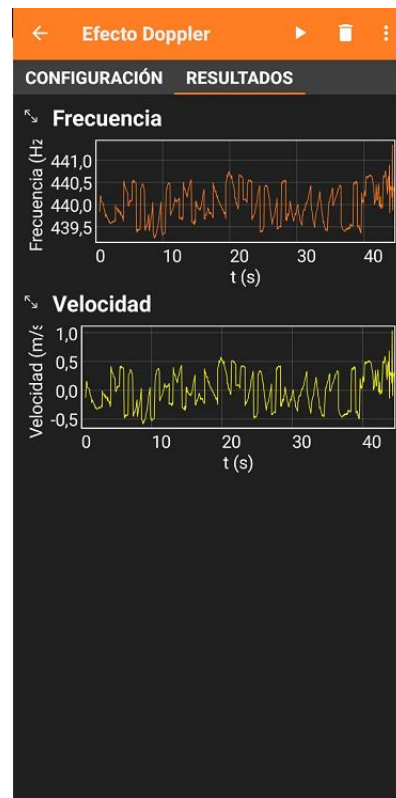


En configuración, elegir:

- Frecuencia base: la misma que tenemos en el generador de frecuencias: 440 Hz en este caso
- Rango de frecuencias: 10,0 Hz
- Tiempo de paso: 50 Hz
- Velocidad de sonido: 340 m/s



Posteriormente ir a resultados e iniciar el experimento dando al triángulo de play. En las gráficas de resultados vemos cómo evoluciona la frecuencia percibida respecto del tiempo y la velocidad respecto del tiempo. Medimos durante aproximadamente 1 minuto con el altavoz fijo. De esta manera podremos ver cómo mantiene aproximadamente la frecuencia emitida y que la velocidad oscila respecto el cero.



Posteriormente, comenzaremos un movimiento oscilante del altavoz, moviéndolo a un lado y a otro del móvil donde estamos midiendo. Veremos entonces que la frecuencia oscila. Copiar las gráficas y exportar los datos recogidos por la app phyphox y realizar un informe.

Realización del experimento

En este [enlace](#) se puede ver el experimento del sonido.

Experimento 4: Medida de la velocidad de propagación del sonido

Material:

2 Teléfonos móviles con app de phyphox

1 metro

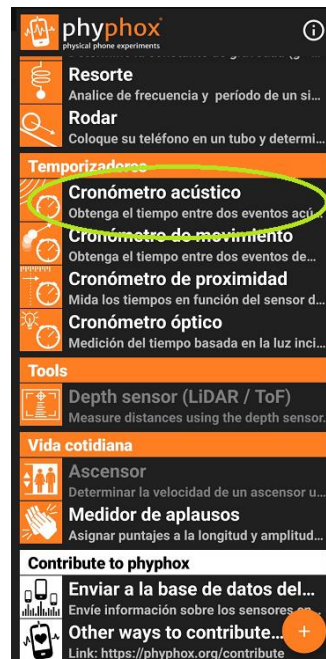
Objetivo

Hallar la velocidad de propagación del sonido

Procedimiento

Poner dos móviles a una distancia conocida (para eso necesitaremos el metro). Tomar distancias grandes de al menos 2 m

En cada móvil entrar en la aplicación phyphox y en la sección temporizadores, elegir cronómetro acústico. A continuación, elegir simple y dentro de ese apartado, umbral 0,1 y retraso mínimo 0,1 s



Cada alumno se posicionará cerca de cada móvil pero separados un poco en sentido contrario a la posición del otro móvil. En el momento en el que no habrá sonidos ajenos al experimento, cada alumno dará al triángulo de cada cronómetro.

El alumno 1 generará un sonido (palmada, chasquido, golpe) y ambos alumnos comprobarán que ambos cronómetros han iniciado y no se han parado. Posteriormente el alumno 2 generará un sonido que hará que ambos cronómetros se pausen.

Entre ambos sonidos habrá una diferencia de tiempos debido a la velocidad de propagación del sonido. Cuando el primer alumno ha emitido la señal, primero se activará el cronómetro de su teléfono y posteriormente se parará el cronómetro del móvil 2 (el de su compañero). Posteriormente, el compañero 2 emitirá una señal que hará parar el cronómetro del móvil 2 primero y posteriormente el cronómetro del móvil 1. La diferencia entre los tiempos de ambos cronómetros será la debida al camino recorrido por el sonido de ida y de vuelta. Por lo tanto:

$$v_{sonido} = \frac{2d}{\Delta t}$$

Siendo d la distancia entre los móviles y Δt la diferencia de tiempos recogida por ambos cronómetros.

Para realizar este experimento se necesitarán distancias de varios metros entre los móviles por lo que se necesitarán espacios grandes.

3.5 Marco Contextual

Estamos en una clase de 2º curso de Bachillerato donde la asignatura de Física es optativa, por lo que, de cada clase habitual de 20-25 alumnos quizás esta asignatura sea elegida por la mitad. En esta clase tan pequeña se pueden dividir a los alumnos por parejas o a lo sumo algún trío y a cada grupo se le asignará uno de los siguientes proyectos de indagación, que posteriormente tendrán que exponer en clase. En caso de que haya más temas que grupos, los temas sobrantes pueden ser explicados por el profesor en última instancia.

El perfil de los estudiantes sería de alumnos con buenas calificaciones y alta vocación por las ciencias que cursan la asignatura dentro de un bachillerato de investigación y excelencia. Se piensa en este perfil porque la autora de este trabajo de fin de máster tuvo la oportunidad de realizar las prácticas en un bachillerato de estas características.

A continuación, se describe una lista de proyectos a elegir por los estudiantes:

1. El efecto Doppler en el sonido:
 - ¿Cómo se manifiesta el efecto Doppler en la vida cotidiana?
 - Investiga aplicaciones prácticas del efecto Doppler en distintas áreas, como la medicina (ecografía Doppler), la astronomía y la meteorología.
2. Ultrasonido y sus aplicaciones:
 - ¿Qué es el ultrasonido y cómo se genera?
 - Analiza el uso del ultrasonido en la medicina, especialmente en la ecografía, y en la industria, como en la limpieza y soldadura de materiales.
3. Aislamiento acústico:
 - ¿Qué materiales y técnicas se utilizan para el aislamiento acústico en edificios?
 - Investiga cómo se mide la efectividad del aislamiento acústico y los parámetros que se consideran (índice de reducción acústica, por ejemplo).
4. Efectos del ruido en la salud: Contaminación acústica
 - ¿Cuáles son los efectos del ruido en la salud física y mental de las personas?
 - Investiga las normativas y medidas de control del ruido en entornos urbanos e industriales.
5. Instrumentos musicales y física del sonido:
 - ¿Cómo producen sonido los diferentes tipos de instrumentos musicales (cuerda, viento, percusión)?
 - Analiza la relación entre la forma de los instrumentos, la frecuencia de las notas que producen y la calidad del sonido (timbre).
6. Tecnología de grabación y reproducción del sonido:
 - ¿Cómo han evolucionado las tecnologías de grabación y reproducción del sonido a lo largo del tiempo?
 - Investiga los principios físicos detrás de tecnologías como los discos de vinilo, las cintas magnéticas, los CDs y los formatos digitales.
7. Sonar y ecolocalización:
 - ¿Cómo funciona la tecnología sonar y en qué campos se utiliza?
 - Investiga el fenómeno de la ecolocalización en animales, como murciélagos y delfines, y cómo se estudia y aplica esta habilidad en la tecnología.
8. Percepción del sonido y psicofísica:

- ¿Cómo se relacionan las características físicas del sonido (frecuencia, amplitud) con la percepción auditiva humana?
- Investiga los umbrales de audición, la percepción de la altura tonal y la diferencia entre sonido y ruido.

9. Terapias basadas en sonido:

- ¿Qué son las terapias basadas en sonido y cómo se utilizan para tratar diferentes afecciones?
- Investiga los fundamentos y la efectividad de técnicas como la musicoterapia, la terapia de sonido y el uso de frecuencias específicas para la sanación.

3.6 Secuenciación/temporalización

Sesión	Contenidos	Metodología	Actividades
1	1. Las ondas	Clase magistral	Introducción teórica: 35 minutos
		Método expositivo	Experimento 1: 15 minutos
2	2. Velocidad de propagación 3. Ondas armónicas	Clase magistral y ABP	Introducción teórica Resolución de problemas
3	4. Aspectos energéticos del movimiento ondulatorio 5. Principio de Huygens	Clase magistral y ABP	Introducción teórica Resolución de problemas
4	6. Ondas estacionarias	Clase magistral	Introducción teórica: 35 minutos Creación de los grupos para la presentación de proyectos y asignación de estos 10 minutos

5	7. El sonido	Clase magistral	Introducción teórica: 35 minutos Explicación del experimento 2 a realizar por ellos a lo largo de los días: 15 minutos
6	8. Aplicaciones tecnológicas del sonido 9. Efecto Doppler	Clase magistral y ABP	Explicación teórica breve del punto 8 para que tengan nociones para proyectos Explicación del punto 9 con ejercicios
7	2. Velocidad de propagación 9. Efecto Doppler	Experimentación	Experimentos 3 y 4 de laboratorio
8	Varios temas según los proyectos de indagación	Aprendizaje por indagación	Día para trabajar en equipos sobre los proyectos y resolución de dudas
9		Metodología de aprendizaje activo y de evaluación	Exposición de proyectos de investigación
10			
11	Unidad completa	Consolidación del conocimiento	Repaso de la unidad
12	Unidad completa	Evaluación	Prueba escrita

3.7 Recursos

3.7.1 Material Didáctico

- Libro de texto: proporcionará la información teórica sobre el tema del sonido a tratar.
- Apuntes y presentaciones: Se realizarán por el profesor para las clases magistrales y por los alumnos para exponer los temas de indagación y complementarán el libro de texto.
- Artículos y recursos online: Para complementar la información y ofrecer diferentes perspectivas y actualizaciones sobre los temas tratados.

3.7.2. Software y Aplicaciones

- Aplicaciones móviles: Por ejemplo, Phyphox permite a los estudiantes usar sus dispositivos móviles para realizar diferentes experimentos acústicos y generar ondas sonoras.
- Simulaciones virtuales: Software educativo que simula fenómenos ondulatorios y permite a los estudiantes experimentar de manera interactiva.

3.7.3. Recursos Audiovisuales

- Videos Educativos: Para ilustrar fenómenos ondulatorios y experimentos que pueden ser difíciles de replicar en el aula y acompañarán las clases magistrales o serán parte del proceso de indagación de los alumnos

3.7.4. Espacios y Mobiliario

- Aula de clases: Equipado con proyector, pantalla y acceso a internet.
- Laboratorio de física: Con mesas de trabajo, acceso a los equipos necesarios y espacio predispuesto para realizar los experimentos, aunque estos se hagan con el móvil

3.7.5. Recursos Humanos

- Profesor de física: Responsable de la planificación y ejecución de la unidad didáctica.
- Estudiantes: Participantes activos en los experimentos y actividades de aprendizaje.

3.7.6. Evaluación

- Criterios de evaluación: Basados en la comprensión de conceptos, habilidades prácticas y participación activa y acompañados de su respectiva rúbrica
- Instrumentos de evaluación: Pruebas escritas, presentaciones orales, informes de laboratorio y proyectos.

3.8 Evaluación y rúbrica

3.8.1 Criterios de evaluación

Saberes básicos	Criterios de evaluación	Competencias claves	Competencias específicas	Descriptorios operativos
<p>- Movimiento oscilatorio: variables cinemáticas de un cuerpo oscilante y conservación de energía en estos sistemas.</p> <p>- Movimiento ondulatorio, magnitudes que le caracterizan y tipos de ondas: gráficas de oscilación en función de la posición y del tiempo, ecuación de onda que lo describe y relación con el movimiento armónico simple. Distintos tipos de movimientos ondulatorios en la naturaleza.</p> <p>- Energía de propagación de una onda. Potencia asociada a un movimiento ondulatorio.</p> <p>Intensidad de una onda y</p>	<p>1.1 Reconocer la relevancia de la física en el desarrollo de la ciencia, la tecnología, la economía, la sociedad y la sostenibilidad ambiental, empleando adecuadamente los fundamentos científicos relativos a esos ámbitos.</p>	<p>CCL STEM CD CPSAA</p>	<p>1. Utilizar las teorías, principios y leyes que rigen los procesos físicos más importantes, considerando su base experimental y desarrollo matemático en la resolución de problemas, para reconocer la física como una ciencia relevante implicada en el desarrollo de la tecnología, la economía, la sociedad y la sostenibilidad ambiental.</p>	<p>STEM1, STEM2, STEM3, CD5.</p>
	<p>1.2 Resolver problemas de manera experimental y analítica, utilizando principios, leyes y teorías de la física.</p>			
	<p>5.1 Obtener relaciones entre variables físicas, midiendo y tratando</p>	<p>CCL</p>	<p>5. Aplicar técnicas de trabajo e indagación</p>	

fenómenos de atenuación y absorción. - Propagación de las ondas. Principio de Huygens. Fenómenos ondulatorios, reflexión, refracción, difracción, interferencias: situaciones y contextos naturales en los que se ponen de manifiesto distintos fenómenos ondulatorios y aplicaciones. Ondas sonoras y sus cualidades, nivel de intensidad sonora. Cambios en las propiedades de las ondas en función del desplazamiento del emisor y receptor	los datos experimentales, determinando los errores y utilizando sistemas de representación gráfica.	STEM CD CPSAA	propias de la física, así como la experimentación, el razonamiento lógico-matemático y la cooperación, en la resolución de problemas y la interpretación de situaciones relacionadas, para poner en valor el papel de la física en una sociedad basada en valores éticos y sostenibles.	STEM1, CPSAA3.2, CC4, CE3.
	5.2 Reproducir en laboratorios, reales o virtuales, determinados procesos físicos modificando las variables que los condicionan, considerando los principios, leyes o teorías implicados, generando el correspondiente informe con formato adecuado e incluyendo argumentaciones, conclusiones, tablas de datos, gráficas y referencias bibliográficas.			
	5.3 Valorar la física, debatiendo de forma fundamentada sobre sus avances y la implicación en la sociedad, desde el punto de vista de la ética y de la sostenibilidad.			

3.8.2 Rúbrica de evaluación para una práctica de laboratorio

Criterio	Excelente (10 puntos)	Bueno (7 puntos)	Aceptable (5 puntos)	Mejorable (1 punto)
Preparación previa 10%	Llegó preparado completamente con todo el material necesario y entendiendo el procedimiento.	Llegó preparado(a) con la mayoría del material necesario y entendiendo el procedimiento.	Llegó con algo de material y una comprensión básica del procedimiento.	Llegó sin preparación ni material adecuado y con poco o ningún entendimiento del procedimiento.
Desempeño en el laboratorio 10%	Trabajó de forma eficiente, siguiendo todos los pasos del procedimiento con precisión y seguridad.	Trabajó de forma adecuada, siguiendo la mayoría de los pasos del procedimiento con algunas imprecisiones menores.	Trabajó de manera básica, con algunos errores en la ejecución del procedimiento.	Trabajó de manera ineficiente, con muchos errores y sin seguir adecuadamente el procedimiento.
Informe de Laboratorio 50%	El informe es completo, bien estructurado, con redacción clara y sin errores. Incluye todas las secciones requeridas, en especial la recolección y análisis de datos de forma correcta y	El informe es adecuado, bien estructurado, con redacción clara y pocos errores. Incluye la mayoría de las secciones requeridas sin olvidar la recolección y análisis de datos y la	El informe es básico, con estructura y redacción aceptables, pero con varios errores. Incluye algunas secciones requeridas olvidando alguna entre la recolección y análisis datos	El informe es incompleto, con mala estructura y redacción confusa. Faltan varias secciones requeridas y la recolección y análisis de datos y las conclusiones

Criterio	Excelente (10 puntos)	Bueno (7 puntos)	Aceptable (5 puntos)	Mejorable (1 punto)
	conclusiones sólidas basadas en dichos datos.	presentación de conclusiones razonables.	o presentando conclusiones débiles.	son inadecuadas o inexistentes.
Trabajo en Equipo 15%	Colaboró eficazmente con los compañeros, demostrando liderazgo, comunicación clara y empatía.	Colaboró adecuadamente con los compañeros, con comunicación clara, participación activa y empatía.	Colaboró de manera básica, con participación irregular y comunicación y empatía limitadas.	No colaboró adecuadamente con los compañeros, con poca o ninguna participación y comunicación y empatía deficientes.
Uso de Instrumentos y Materiales 10%	Utilizó los instrumentos y materiales de manera correcta y cuidadosa, respetando todas las normas de seguridad.	Utilizó los instrumentos y materiales adecuadamente, con algunas imprecisiones menores y respetando las normas de seguridad.	Utilizó los instrumentos y materiales de manera básica, con varios errores y respeto limitado a las normas de seguridad.	Utilizó incorrectamente los instrumentos y materiales, sin respetar las normas de seguridad.

3.8.3 Rúbrica de evaluación para un examen de física

Criterio	Excelente (10 puntos)	Bueno (7 puntos)	Aceptable (5 puntos)	Mejorable (1 punto)
Comprensión de conceptos (15%)	Muestra una comprensión profunda y completa de los conceptos clave.	Muestra una buena comprensión de los conceptos clave, con algunos errores menores.	Muestra una comprensión básica de los conceptos, con varios errores.	No demuestra una comprensión adecuada de los conceptos clave.
Resolución de problemas (20%)	Resuelve problemas complejos con precisión, mostrando todos los pasos claramente.	Resuelve problemas con precisión, mostrando la mayoría de los pasos claramente.	Resuelve problemas de manera básica, con algunos errores y omitiendo algunos pasos.	Tiene dificultades para resolver problemas y muestra pocos o incorrectos pasos.
Aplicación de fórmulas (15%)	Aplica las fórmulas correctamente en todos los problemas, haciendo uso de las unidades tanto en la fórmula como en el resultado.	Aplica las fórmulas correctamente en la mayoría de los problemas, dando el resultado con las unidades correctas pudiendo no escribirlas en la propia fórmula.	Aplica las fórmulas correctamente en algunos problemas, con varios errores, entre ellos la falta de unidades en el resultado.	Aplica las fórmulas incorrectamente o no las aplica en los problemas.
Claridad y organización (10%)	Las respuestas están muy bien organizadas, claras y fáciles de seguir.	Las respuestas están bien organizadas y son mayormente claras.	Las respuestas están organizadas de manera	Las respuestas están desorganizadas y son difíciles de seguir.

Criterio	Excelente (10 puntos)	Bueno (7 puntos)	Aceptable (5 puntos)	Mejorable (1 punto)
			básica, con algunas partes confusas.	
Uso de gráficos y diagramas (10%)	Utiliza gráficos y diagramas de manera efectiva para completar las respuestas.	Utiliza gráficos y diagramas adecuadamente en la mayoría de las respuestas.	Utiliza gráficos y diagramas de manera básica, con algunos errores.	No utiliza gráficos y diagramas, o los utiliza de manera incorrecta.
Justificación y explicación (20%)	Proporciona justificaciones y explicaciones detalladas y precisas.	Proporciona justificaciones y explicaciones adecuadas con algunos detalles menores.	Proporciona justificaciones y explicaciones básicas, con varios detalles faltantes.	No proporciona justificaciones y explicaciones adecuadas o completas.
Precisión y exactitud (10%)	Todas las respuestas son precisas y exactas.	La mayoría de las respuestas son precisas y exactas.	Algunas respuestas son precisas y exactas, pero con varios errores.	Pocas respuestas son precisas y exactas, con muchos errores.

3.8.4 Rúbrica de evaluación para los proyectos de indagación de física

Criterio	Excelente (10 puntos)	Bueno (7 puntos)	Aceptable (5 puntos)	Mejorable (1 punto)
Exposición oral (40%)	Mantiene buen ritmo en el desarrollo oral, hablando con claridad. Contesta a las preguntas realizadas por sus compañeros y profesores	Habla con claridad con altibajos en el ritmo del desarrollo. Contesta a la mayoría de las preguntas realizadas por compañeros y profesores.	Habla con relativa claridad con altibajos en el ritmo del desarrollo. Apenas contesta a las preguntas realizadas por compañeros y profesores.	No es capaz de mantener la exposición oral y tampoco sabe responder las preguntas realizadas por compañeros y profesores.
Justificación (15%)	Justifica de manera clara y coherente el por qué y para qué se quiere estudiar e indagar ese problema. Destaca la conveniencia del tema de indagación.	Justifica de manera clara y coherente el por qué y para qué se quiere estudiar e indagar ese problema. No le da importancia suficiente a la conveniencia del tema de indagación.	Justifica de forma poco clara o incoherente el por qué y para qué se quiere estudiar e indagar ese problema. No le da importancia suficiente a la conveniencia del tema de indagación.	No Justifica el por qué y para qué se quiere estudiar e indagar ese problema. No da importancia suficiente a la conveniencia del tema de indagación.
Objetivos (15%)	Presenta objetivo general y específicos de forma clara.	Presenta objetivo general y específicos de manera clara.	Presenta los objetivos, pero sin diferenciar entre general y específicos.	Se limita a hacer una lista de objetivos.

Criterio	Excelente (10 puntos)	Bueno (7 puntos)	Aceptable (5 puntos)	Mejorable (1 punto)
	<p>Todos los objetivos responden a las preguntas: qué, cómo y para qué.</p> <p>Hay congruencia entre objetivo general y específicos.</p>	<p>Algunos objetivos no responden a las preguntas: qué, cómo y para qué.</p> <p>Hay congruencia entre objetivo general y específicos.</p>	<p>Los objetivos no responden a las preguntas: qué, cómo y para qué.</p>	
Discusión (15%)	<p>Expone los hallazgos y los relaciona con los objetivos propuestos, y el conocimiento previo sobre el problema estudiado.</p>	<p>Expone los hallazgos de manera vaga, aunque los relaciona con los objetivos propuestos, sin contemplar el conocimiento previo sobre el problema estudiado.</p>	<p>Expone los hallazgos, pero no los relaciona con los objetivos propuestos y el conocimiento previo sobre el problema estudiado.</p>	<p>No desarrolla la discusión o lo hace de forma muy vaga.</p>
Conclusión (15%)	<p>Analizan las implicaciones teóricas y prácticas de la investigación, como de sus posibles aplicaciones prácticas a la vida real.</p>	<p>Analizan las implicaciones teóricas y prácticas de la investigación, como de sus posibles aplicaciones prácticas a la vida real, de manera vaga.</p>	<p>Analiza las implicaciones teóricas y prácticas de la investigación de forma vaga pero no sus posibles aplicaciones prácticas a la vida real.</p>	<p>No contempla ninguno de los criterios considerados para elaborar la conclusión o directamente no realiza conclusiones.</p>

3.8.5 Rúbrica de evaluación de la actitud del alumno de secundaria

Criterio	Excelente (10 puntos)	Bueno (7 puntos)	Aceptable (5 puntos)	Mejorable (1 punto)
Participación en clase 10%	Participa de manera activa y consistente, ofreciendo comentarios relevantes y respetuosos.	Participa regularmente, con comentarios generalmente relevantes y respetuosos.	Participa ocasionalmente, con algunos comentarios relevantes.	Participa raramente o no participa, con comentarios irrelevantes o inapropiados.
Colaboración en grupo 20%	Trabaja muy bien en equipo, respetando las opiniones de los demás y contribuyendo de manera significativa.	Trabaja bien en equipo, generalmente respeta las opiniones de los demás y contribuye adecuadamente.	Trabaja en equipo de manera aceptable, pero con contribuciones limitadas.	Tiene dificultades para trabajar en equipo, con poca o ninguna contribución positiva.
Responsabilidad 25%	Siempre cumple con sus tareas y compromisos a tiempo, empezando por la puntualidad.	Cumple con sus tareas y compromisos la mayoría de las veces, aunque siempre es puntual.	Cumple con sus tareas y compromisos de manera irregular, siendo impuntual en varias ocasiones.	Frecuentemente no cumple con sus tareas y compromisos, apenas es puntual.
Actitud hacia el Aprendizaje 20%	Muestra un entusiasmo constante por aprender, haciendo preguntas y	Muestra interés por aprender, hace preguntas y busca entender el	Muestra interés por aprender, pero rara vez hace preguntas o busca	Muestra poco o ningún interés por aprender, rara vez

Criterio	Excelente (10 puntos)	Bueno (7 puntos)	Aceptable (5 puntos)	Mejorable (1 punto)
	buscando entender más allá del mínimo requerido.	contenido de manera adecuada.	entender más allá del mínimo requerido.	hace preguntas o busca entender el contenido.
Respeto 25%	Siempre muestra respeto hacia sus compañeros y profesores, no hablando fuera de tiempo y mostrando empatía	Generalmente muestra respeto hacia sus compañeros y profesores, no hablando fuera de tiempo.	Muestra respeto básico hacia sus compañeros y profesores, hablando en ocasiones fuera de su turno	Frecuentemente muestra falta de respeto hacia sus compañeros y profesores, hablando fuera de su turno y diciendo groserías.

3.8.6 Criterios de calificación.

Prueba escrita: 50%.

Trabajo de indagación: 25%

Práctica de laboratorio: 20%

Actitud: 5%

Para aplicar estos porcentajes se requerirá que en cada apartado haya una nota mínima de 4 sobre 10.

4. Contextualización de este trabajo en los Objetivos de Desarrollo Sostenible.

En este trabajo de Fin de Máster hemos podido observar cómo la enseñanza del sonido en el aula puede vincularse con varios Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) promovidos por las Naciones Unidas. Aquí se presentan algunos ODS que se han integrado en esta propuesta didáctica sobre el sonido.

- ODS 4: Educación de Calidad; Meta 4.1: *“Para 2030, garantizar que todos los niños y niñas completen una educación primaria y secundaria gratuita, equitativa y de calidad que conduzca a resultados de aprendizaje relevantes y efectivos para el Objetivo 4.”*
Contextualización del sonido en el entorno escolar desde el punto de vista físico, entendiendo que es debido a cambios de presión en un medio material y que afecta a todos los individuos por igual, independientemente de su raza, género, religión o condición física o social
- ODS 9 Industria, Innovación e Infraestructura; Meta 9.5: *“Aumentar la investigación científica y mejorar la capacidad tecnológica de los sectores industriales de todos los países, en particular los países en desarrollo, entre otras cosas fomentando la innovación y aumentando considerablemente, de aquí a 2030, el número de personas que trabajan en investigación y desarrollo por millón de habitantes y los gastos de los sectores público y privado en investigación y desarrollo”.* Hemos realizado experiencias de laboratorio donde hemos puesto en práctica la física del sonido con dispositivos que generan, transmiten y recogen el sonido, como altavoces, micrófonos, o sensores acústicos desde una perspectiva innovadora porque se trata de tecnología actualizada de la información y la comunicación.
- ODS 11: Ciudades y Comunidades Sostenibles; Meta 11.3: *“De aquí a 2030, aumentar la urbanización inclusiva y sostenible y la capacidad para la planificación y la gestión participativas, integradas y sostenibles de los asentamientos humanos en todos los países.”*
Los estudiantes han investigado sobre el control del ruido en entornos urbanos y cómo afectan a la ciudadanía. Además, los estudiantes han podido medir (o investigar) niveles de ruido en diferentes áreas de la ciudad y proponer soluciones para reducir la contaminación acústica, mejorando la calidad de vida en sus comunidades.
- ODS 13: Acción por el Clima; Meta 13.3: *“Mejorar la educación, la sensibilización y la capacidad humana e institucional respecto de la mitigación del cambio climático, la adaptación a él, la reducción de sus efectos y la alerta temprana.”* Al igual que el anterior,

los estudiantes han podido estudiar cómo los niveles de ruido afectan a la vida silvestre y proponer soluciones para mitigar estos efectos, sensibilizándolos sobre la importancia de un entorno acústico saludable para la biodiversidad.

- ODS 15: Vida de Ecosistemas Terrestres; Meta 15.5: *“Adoptar medidas urgentes y significativas para reducir la degradación de los hábitats naturales, detener la pérdida de biodiversidad y, de aquí a 2020, proteger las especies amenazadas y evitar su extinción.”*

Con esta propuesta crearemos en nuestros estudiantes la consciencia de que el sonido abarca un amplio espectro y que a pesar de que los seres humanos solo perciben en 2000 Hz y 20 kHz de frecuencia de onda sonora, en rangos inferiores de infrasonido y superiores de ultrasonido otras especies de seres vivos son sensibles y se sienten afectadas por ellos.

5. Conclusiones y trabajos futuros de la contribución

5.1 Conclusiones

En este trabajo se ha desarrollado una propuesta didáctica sobre el sonido destinada a estudiantes de 2º de Bachillerato, alineada con varios Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), específicamente los ODS 4, 9, 11, 13 y 15. A lo largo del proyecto se han abordado diferentes aspectos clave de la física del sonido, integrando tanto la teoría como la práctica experimental, con el objetivo de fomentar una comprensión profunda y aplicable del tema en los estudiantes.

La propuesta destaca la importancia de:

1. Relaciones entre variables físicas: Se ha enfatizado la habilidad de los estudiantes para medir y analizar datos experimentales utilizando sistemas de representación gráfica para establecer relaciones entre las variables físicas involucradas.
2. Aplicación de técnicas de indagación: Los estudiantes han aplicado técnicas propias del trabajo científico, incluyendo la experimentación y el razonamiento lógico-matemático. Esta metodología no solo mejora la comprensión de los principios físicos, sino que también promueve la cooperación y la resolución de problemas en contextos reales, subrayando el valor de la física en una sociedad ética y sostenible.

Reproducción de procesos físicos: Se han reproducido en el laboratorio varios procesos físicos relacionados con el sonido, modificando las variables y considerando los principios y teorías implicados. Los estudiantes han generado informes detallados que incluyen argumentaciones,

conclusiones, tablas de datos, gráficas y referencias bibliográficas, demostrando su capacidad para comunicar eficazmente los resultados de sus investigaciones. Con estas experimentaciones, no solo refuerzan su comprensión del fenómeno ondulatorio, sino que también subrayan la importancia de las herramientas tecnológicas en la enseñanza y aplicación de conceptos físicos avanzados.

3. Valoración de la física y su impacto social: La propuesta también ha buscado que los estudiantes valoren los avances en física y su impacto en la sociedad, fomentando debates fundamentados sobre la ética y la sostenibilidad de estos avances. Se ha subrayado cómo la física contribuye a la mejora de la calidad de vida y al desarrollo sostenible.

En resumen, esta unidad didáctica no solo ha proporcionado a los estudiantes conocimientos teóricos y prácticos sobre el sonido, sino que también ha desarrollado habilidades críticas de indagación, análisis y valoración de la ciencia en un contexto ético y sostenible. Los resultados indican que los objetivos planteados al inicio del proyecto se han cumplido satisfactoriamente, proporcionando una base sólida para futuras investigaciones y desarrollos educativos en la enseñanza de la física.

5.2 Líneas de trabajo futuras.

Para continuar con el desarrollo y mejora de esta propuesta didáctica, se sugieren las siguientes líneas de trabajo futuras:

1. Ampliación del contenido: Incluir más estudios de caso y ejemplos prácticos que relacionen la teoría del sonido con aplicaciones tecnológicas actuales y emergentes.
2. Integración de tecnologías avanzadas: Utilizar tecnologías de realidad aumentada y virtual para simular experimentos complejos de sonido que no pueden realizarse fácilmente en un laboratorio escolar.
3. Desarrollo de proyectos interdisciplinarios: Fomentar proyectos que integren la física del sonido con otras disciplinas como la biología, la ingeniería y las ciencias ambientales, para promover una educación STEM más holística.
4. Evaluación continua: Implementar métodos de evaluación continua y formativa para monitorear el progreso de los estudiantes y ajustar la enseñanza a sus necesidades específicas.

5. Formación de profesores: Proporcionar programas de formación continua para los docentes, enfocándose en nuevas metodologías de enseñanza y en el uso de tecnologías educativas innovadoras.

Estas líneas de trabajo futuras contribuirán a enriquecer la enseñanza de la física del sonido, preparando a los estudiantes no solo para superar sus exámenes, sino también para comprender y aplicar la física en contextos reales y diversos.

Referencias bibliográficas

Libros y revistas

- Arentsen, H. (1985). *Luz, egos y universos*. Editorial Andrés Bello.
- Ausubel, D. P., Novak, J. D., & Hanesian, H. (1983). *Psicología educativa: un punto de vista cognoscitivo*. Trillas.
- Carjori, F. (1951). *Historia de las matemáticas*. . Dover publications.
- Comellas, J. L. (2007). *Historia sencilla de la ciencia*. Ediciones Rialp.
- Crombie, A. C. (1996). *Historia de la ciencia de San Agustín a Galileo. Volumen I*. Fondo de Cultura económica.
- García, A., & Martínez, P. (2005). *Dificultades en el aprendizaje de las ciencias: Un enfoque evolutivo*. Revista de Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales.
- Gil, S., & Rodríguez, E. (2001). *Física re-Creativa*. Prentice Hall.
- Gómez, M., Gutiérrez, J., & Martín-Díaz, M. (2000). *La enseñanza de la física y la química en la educación secundaria: desafíos y oportunidades*. Revista de educación en ciencias.
- Hernández, M., & Prieto, J. (2008). *Historia de la Ciencia. Volumen II*. Fundación Canaria Orotava de Historia de la Ciencia.
- Kline, M. (1972). *El pensamiento matemático de la antigüedad a nuestros días*. Alianza Editorial.
- Nacenta, P., & Romo, N. (2016). *Física 2º Bachillerato*. SM.
- Perales, F. J. (1994). *Las concepciones alternativas sobre el sonido y la audición en los estudiantes de secundaria*. Enseñanza de las ciencias.
- Perales, F. J. (1997). *Escuchando el sonido: una investigación sobre las ideas de los estudiantes*. Revista de educación en Ciencias.

- Pérez, J., & López, R. (2008). *Concepciones alternativas y enseñanza de las ciencias*. Revista de Educación en Ciencias.
- Rodríguez, M. A. (2010). *Actitudes hacia la ciencia y su impacto en el aprendizaje*. Journal of Science Education.
- Sepúlveda, A. (2003). *Los conceptos de la física: evolución histórica*. . Universidad de Antioquía.
- Tipler, P. A., & Mosca, G. (2010). *Física para la ciencia y la tecnología, Vol. 1: Mecánica, oscilaciones y ondas, termodinámica*. Editorial Reverté.

Legislación

- Consejería de Educación de la Junta de Castilla y León. (2022). *DECRETO 39/2022, de 29 de septiembre, por el que se establece la ordenación y el currículo de la educación secundaria obligatoria en la Comunidad de Castilla y León*. Boletín Oficial de Castilla y León, núm. 190, de 30 de septiembre de 2022.
- Consejería de Educación de la Junta de Castilla y León. (2022). *DECRETO 40/2022, de 29 de septiembre, por el que se establece la ordenación y el currículo del bachillerato en la Comunidad de Castilla y León*. Boletín Oficial de Castilla y León, núm. 190, de 30 de septiembre de 2022.
- Jefatura del Estado. (2020). Ley Orgánica de Modificación de la Ley Orgánica de Educación (LOMLOE) (Ley Orgánica 3/2020, de 29 de diciembre). Boletín Oficial del Estado.

Webgrafías

- Objetivos de Desarrollo Sostenible*. (s/f). UNDP. Recuperado el 27 de junio de 2024, de <https://www.undp.org/es/sustainable-development-goals>
- Metodologías de aprendizaje y descripción de actividades presenciales (s.f.) Instituto Nacional de Administración Pública. Recuperado el 27 de junio de 2024 de <http://www.inap.es/alfresco/d/d/workspace/SpacesStore/e166787e-f9b0-4594-8890-729acce6d330/Metodologias-aprendizaje.pdf>

Anexos

Anexo I: Examen

Examen de Sonido. Enunciados

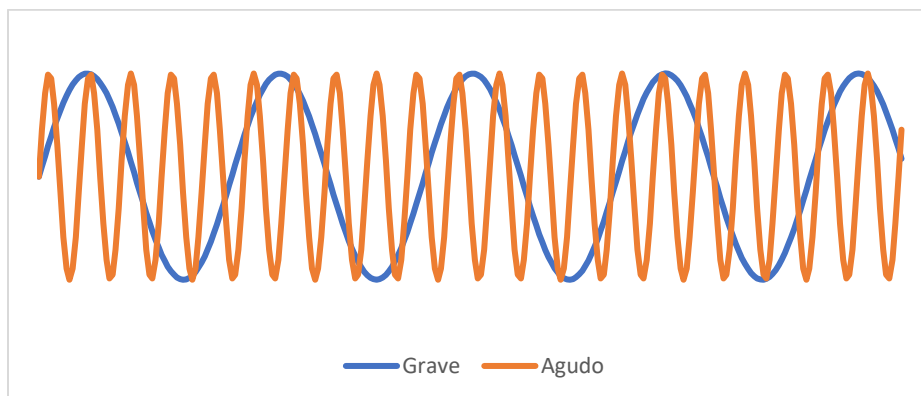
1. Defina las cualidades del sonido relacionándolas con sus correspondientes características físicas que también has de definir.
2. Halla la velocidad del sonido en el aire a 0°C y a 30°C sabiendo que la masa molar del aire es de $28,8\text{ g/mol}$
3. Un sonido viaja del aire (velocidad 343 m/s) al agua (velocidad 1482 m/s). Si el ángulo de incidencia en la superficie del agua es de 10° , calcule los ángulos de reflexión y refracción
4. Una fuente sonora emite un sonido con una potencia de 0.5 W .
 - a. Calcule la intensidad del sonido a una distancia de 10 metros de la fuente y el nivel de intensidad sonora
 - b. Si tenemos 5 fuentes sonoras iguales ¿cuál es el nivel de intensidad sonora?
5. Un coche de policía con una sirena emitiendo un sonido a 700 Hz se acerca a un observador a una velocidad de 30 m/s . La velocidad del sonido en el aire es de 343 m/s . Calcule la frecuencia percibida por el observador.

Examen de Sonido. Respuestas

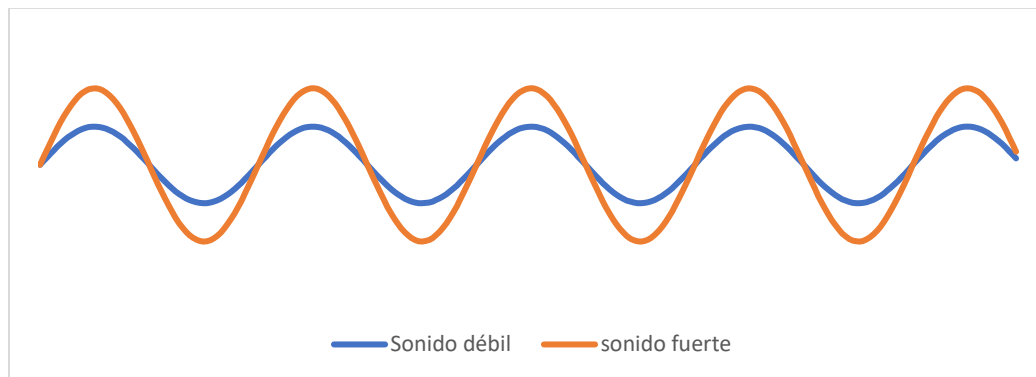
1. Defina las cualidades del sonido relacionándolas con sus correspondientes características físicas que también has de definir.

Las cualidades del sonido son 3: el tono o altura, la intensidad sonora y el timbre, que pasamos a definir:

- El tono o altura permite distinguir entre sonidos graves y agudos. Está relacionado con la frecuencia de vibración de la fuente sonora.



- La intensidad sonora permite calificar a un sonido como fuerte o débil. Está relacionado con la amplitud de la onda: los sonidos fuertes se corresponden con amplitudes grandes y los débiles, con amplitudes pequeñas.



- El timbre hace posible distinguir sonidos de la misma frecuencia y la misma amplitud, producidos por distintas fuentes: personas, instrumentos, etc. Está asociado con la forma de la onda sonora.

En estas definiciones hemos mencionado las siguientes características físicas:

- Frecuencia de vibración (ν): es el número de ciclos de movimiento que se efectúan en la unidad de tiempo. Su valor es, por tanto, el inverso del periodo:

$$\nu = \frac{1}{T}$$

- Amplitud de onda A: es la máxima distancia que alcanza un punto que vibra debido al paso de una onda, medida desde su posición de equilibrio.

2. Halla la velocidad del sonido en el aire a 0°C y a 30°C sabiendo que la masa molar del aire es de $28,8 \text{ g/mol}$

La velocidad del sonido en un gas como el aire viene dado por la expresión:

$$v = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M}}$$

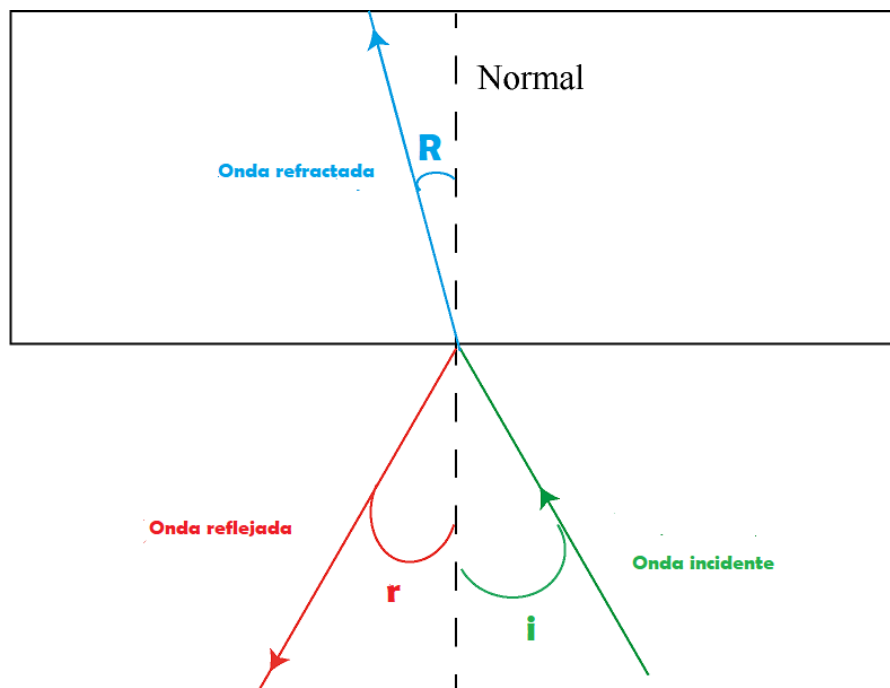
Donde γ es el coeficiente adiabático del gas, R es la constante de los gases, T es la temperatura y M la masa molar del aire.

En nuestro caso $\gamma = 1,4$, $R = 8,31 \frac{J}{mol \cdot K}$, $M = 28,8 \frac{g}{mol} = 2,88 \cdot 10^{-2} \frac{kg}{mol}$. Aplicando estos datos junto con las temperaturas dadas a la fórmula dicha:

$$T = 0 \text{ } ^\circ\text{C} = 273,15 \text{ K} \rightarrow v = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M}} = \sqrt{\frac{1,4 \cdot 8,31 \cdot 273,15}{2,88 \cdot 10^{-2}}} = 332,18 \text{ m/s}$$

$$T = 30 \text{ } ^\circ\text{C} = 303,15 \text{ K} \rightarrow v = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M}} = \sqrt{\frac{1,4 \cdot 8,31 \cdot 303,15}{2,88 \cdot 10^{-2}}} = 349,94 \text{ m/s}$$

3. Un sonido viaja del aire (velocidad 343 m/s) al agua (velocidad 1482 m/s). Si el ángulo de incidencia en la superficie del agua es de 10° , calcule los ángulos de reflexión y refracción



La reflexión de las ondas consiste en el cambio de la dirección de propagación al incidir la onda en el límite de separación de dos medios diferentes; después de la reflexión la onda continúa su propagación en el mismo medio. Las leyes para la reflexión

- La dirección de la onda incidente (rayo incidente), de la onda reflejada (rayo reflejado) y la normal a la superficie están en el mismo plano.
- El ángulo de incidencia y el ángulo de reflexión son iguales $\hat{i} = \hat{r}$.

Por lo tanto, según esta última ley, el ángulo de incidencia y el de reflexión coinciden:

$$\hat{i} = \hat{r} = 10^\circ$$

La refracción de las ondas consiste en el cambio de la dirección de propagación de la onda cuando esta pasa de un medio donde viaja con velocidad v_1 a otro donde su velocidad, v_2 , es distinta. La refracción cumple las siguientes leyes:

- La dirección de incidencia de las ondas, la dirección de salida y la normal a la superficie de separación entre ambos medios están en un mismo plano.
- La relación entre el seno del ángulo de incidencia, y el ángulo de refracción es igual a la razón entre las velocidades v_1 y v_2 de propagación en ambos medios (ley de Snell).

$$\frac{\sin \hat{i}}{\sin \hat{R}} = \frac{v_1}{v_2}$$

Según esta segunda ley y nuestros datos ($\hat{i} = 10^\circ$, $v_1 = v_{\text{aire}} = 343 \text{ m/s}$, $v_2 = v_{\text{agua}} = 1482 \text{ m/s}$) tenemos que:

$$\frac{\sin \hat{i}}{\sin \hat{R}} = \frac{v_1}{v_2} \rightarrow \frac{\sin 10^\circ}{\sin \hat{r}} = \frac{343}{1482} \rightarrow \sin \hat{R} = 0,75 \rightarrow \hat{r} = 48,59^\circ$$

4. Una fuente sonora emite un sonido con una potencia de 0.5 W.
 - a. Calcule la intensidad del sonido a una distancia de 10 metros de la fuente y el nivel de intensidad sonora
 - b. Si tenemos 5 fuentes sonoras iguales a la misma distancia anterior de la fuente ¿cuál es el nivel de intensidad sonora?

a. La intensidad, I , de una onda en un punto es la energía que pasa en cada unidad de tiempo y unidad de superficie situada perpendicularmente a la dirección de propagación.

$$I = \frac{E}{St} = \frac{P}{S}$$

Para un frente de onda esférico,

$$I = \frac{P}{S} = \frac{P}{4\pi r^2}$$

Sustituyendo nuestros datos:

$$I = \frac{P}{4\pi r^2} = \frac{0,5}{4\pi \cdot 10^2} = 4,0 \cdot 10^{-4} \text{ W/m}^2$$

La relación entre la intensidad sonora y el nivel de intensidad sonora viene dada por la expresión:

$$\beta = 10 \log \frac{I}{I_0}$$

Siendo la intensidad umbral mínima para oír un sonido $I_0 = 1,0 \cdot 10^{-12} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$. Por lo tanto, para la intensidad hallada anteriormente, tenemos el siguiente nivel de intensidad sonora:

$$\beta = 10 \log \frac{I}{I_0} = 10 \log \frac{4,0 \cdot 10^{-4}}{1,0 \cdot 10^{-12}} = 86 \text{ dB}$$

b. Si tenemos 5 fuentes, lo que aumenta proporcionalmente es la intensidad sonora:

$$I_T = 5 \cdot I = 5 \cdot 4,0 \cdot 10^{-4} = 2,0 \cdot 10^{-3} \text{ W/m}^2$$

$$\beta = 10 \log \frac{I}{I_0} = 10 \log \frac{2,0 \cdot 10^{-3}}{1,0 \cdot 10^{-12}} = 83 \text{ dB}$$

5. Un coche de policía con una sirena emitiendo un sonido a 700 Hz se acerca a un observador a una velocidad de 30 m/s. La velocidad del sonido en el aire es de 343 m/s. Calcule la frecuencia percibida por el observador y defina el concepto que da lugar a este hecho.

El efecto Doppler es un fenómeno ondulatorio que se produce cuando hay un movimiento relativo entre un foco emisor y un observador. La frecuencia percibida por el observador es distinta de la frecuencia emitida por el foco productor de ondas.

Este efecto se puede dar de varias formas en función de las velocidades del emisor y del observador. En este caso, tenemos que el emisor se mueve acercándose al observador que está en reposo y, por lo tanto, la frecuencia observada viene dada por la expresión:

$$v_{obs} = v_{emit} \cdot \frac{1}{1 - \frac{v_{Fuente}}{v_{sonido}}}$$

En nuestro caso $v_{sonido} = 343 \text{ m/s}$; $v_{Fuente} = 30 \text{ m/s}$ y $v_{emit} = 700 \text{ Hz}$, por lo que la frecuencia observada es:

$$v_{obs} = v_{emit} \cdot \frac{1}{1 - \frac{v_{Fuente}}{v_{sonido}}} = 700 \cdot \frac{1}{1 - \frac{30}{343}} = 767 \text{ Hz}$$

Anexo II: Ejemplo de desarrollo de un tema de indagación.

Efectos del ruido en la salud: Contaminación acústica

Introducción

La contaminación acústica se ha convertido en un problema ambiental y de salud pública de gran relevancia. El ruido, definido como un sonido no deseado, puede tener efectos significativos en la salud física y mental de las personas. En este trabajo se abordan los efectos del ruido en la salud, tanto física como mental, y se exploran las normativas y medidas de control del ruido en entornos urbanos e industriales.

Efectos del ruido en la salud física

- Problemas auditivos: La exposición prolongada a niveles elevados de ruido puede provocar pérdida auditiva, tanto temporal como permanente. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), los niveles superiores a 85 decibelios (dB) durante largos periodos pueden causar daño auditivo irreversible.
- Enfermedades cardiovasculares: Estudios han demostrado que la exposición al ruido puede aumentar el riesgo de hipertensión, enfermedades coronarias y accidentes cerebrovasculares. El ruido causa estrés crónico, que a su vez eleva la presión arterial y los niveles de cortisol, contribuyendo a problemas cardiovasculares.
- Alteraciones del sueño: El ruido nocturno puede interrumpir el sueño, lo que conduce a problemas como insomnio, fragmentación del sueño y reducción de su calidad. La falta de un sueño reparador puede resultar en fatiga, disminución del rendimiento cognitivo y afectación del sistema inmunológico.
- Problemas respiratorios: La contaminación acústica también se ha relacionado con problemas respiratorios. La exposición constante al ruido puede inducir una respuesta al estrés que exacerba condiciones respiratorias como el asma.

Efectos del ruido en la salud mental

- Estrés y ansiedad: El ruido puede ser una fuente constante de estrés y ansiedad. La exposición crónica al ruido ambiental aumenta los niveles de estrés y puede contribuir al desarrollo de trastornos de ansiedad.

- Depresión: Estudios han indicado que las personas que viven en entornos ruidosos tienen un mayor riesgo de desarrollar depresión. El ruido constante puede interferir con la tranquilidad mental y contribuir a un estado de ánimo deprimido.
- Problemas de concentración y rendimiento cognitivo: La exposición al ruido puede afectar la capacidad de concentración y el rendimiento cognitivo. Esto es especialmente preocupante en entornos educativos y laborales, donde la productividad y el aprendizaje pueden verse gravemente afectados.
- Irritabilidad y agresividad: El ruido constante puede aumentar los niveles de irritabilidad y agresividad. La exposición continua al ruido puede desencadenar respuestas emocionales negativas y aumentar el riesgo de conflictos interpersonales.

Normativas y medidas de control del ruido en entornos urbanos e industriales

- Normativas internacionales: La OMS proporciona guías sobre niveles de ruido recomendados para diferentes entornos. Estas guías incluyen recomendaciones específicas para el ruido en interiores y exteriores, así como para el ruido nocturno y diurno.
- Legislación europea: En la Unión Europea, la Directiva 2002/49/CE sobre el ruido ambiental establece la necesidad de evaluar y gestionar el ruido en entornos urbanos. Esta directiva obliga a los estados miembros a elaborar mapas de ruido y planes de acción para reducir la exposición al ruido.
- Normativas nacionales: En España, el Real Decreto 1367/2007 establece los criterios para la evaluación y gestión del ruido ambiental. Esta normativa define los niveles máximos de ruido permitidos en diferentes zonas (residenciales, comerciales, industriales) y establece medidas para su control.
- Medidas de control en entornos urbanos:
 - Zonificación acústica: La creación de mapas de ruido y la zonificación acústica permiten identificar áreas problemáticas y establecer medidas específicas para reducir el ruido.
 - Pantallas acústicas: La instalación de pantallas acústicas en carreteras y vías ferroviarias es una medida efectiva para reducir el ruido en zonas residenciales cercanas.

- Control del tráfico: Implementar zonas de tráfico limitado y fomentar el uso de transporte público y bicicletas puede contribuir significativamente a la reducción del ruido en áreas urbanas.
- Medidas de control en entornos industriales:
 - Aislamiento acústico: El uso de materiales aislantes en las estructuras de los edificios industriales puede reducir la propagación del ruido.
 - Mantenimiento de maquinaria: El mantenimiento regular de la maquinaria industrial puede disminuir los niveles de ruido producido por equipos defectuosos.
 - Barreras acústicas: La instalación de barreras acústicas alrededor de las instalaciones industriales puede mitigar la propagación del ruido hacia el exterior.

Conclusión

La contaminación acústica representa un desafío significativo para la salud pública. Los efectos del ruido en la salud física y mental son diversos y pueden ser graves, afectando la calidad de vida de las personas expuestas. Las normativas y medidas de control del ruido son esenciales para mitigar estos efectos y mejorar el bienestar de las comunidades urbanas e industriales. Es crucial continuar investigando y desarrollando estrategias efectivas para el control del ruido y la protección de la salud pública.

Bibliografía

- Avilés López, R., Perera Martín, R. (2017). *Manual de acústica ambiental y arquitectónica*. Ediciones Paraninfo, S.A.
- García, A., García Rodríguez, A. (2014). *La contaminación acústica*. España: Publicacions de la Universitat de València.
- Gil-Carcedo Sañudo, E., Gil-Carcedo, L. M., Gil-Carcedo García, L. M., Vallejo Valdezate, L. Á. (2008). *Efectos del ruido en la salud humana*. Ediciones Universidad de Valladolid.
- Ministerio de la presidencia. *Real Decreto 1367/2007, de 19 de octubre, por el que se desarrolla la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido, en lo referente a zonificación acústica, objetivos de calidad y emisiones acústicas*. Boletín Oficial de España núm. 254, de 23 de octubre de 2007

Anexo III: Ejemplo de un informe de laboratorio.

Comprobar la diferencia de frecuencia para efecto Doppler.

Objetivos

Comprobar el efecto Doppler cuando el foco emisor se mueve y el observador (móvil) permanece en reposo.

Material

Teléfono móvil con las app phyphox y generador de frecuencias

Altavoz móvil con una cuerda

Marco teórico

El efecto Doppler es un fenómeno ondulatorio que consiste en el cambio que experimenta la frecuencia con que percibimos un movimiento ondulatorio respecto de la frecuencia con la que ha sido originado, a causa del movimiento relativo entre la fuente y el receptor, es decir, la frecuencia percibida por el observador es distinta de la frecuencia emitida por el foco productor de ondas.

Aunque el movimiento relativo entre fuente y receptor se puede dar de diversos casos, nosotros nos centraremos en el caso de que el foco o fuente se mueva respecto al observador en reposo.

Dentro de este caso, existen dos posibilidades:

- Cuando **el foco emisor se aleja con velocidad v_F del observador en reposo**, el observador percibe:

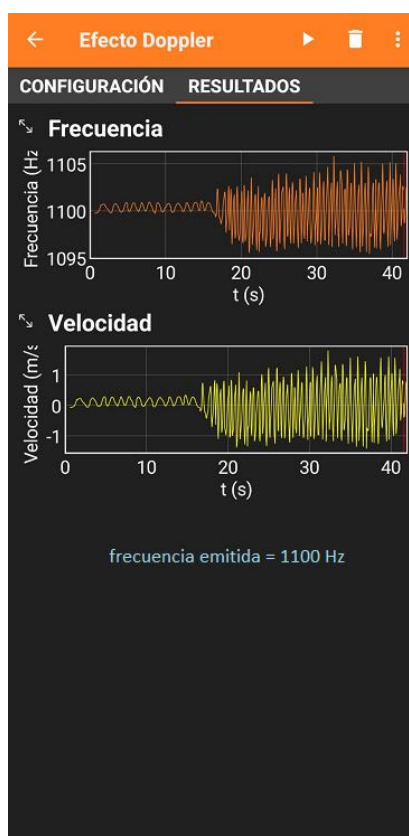
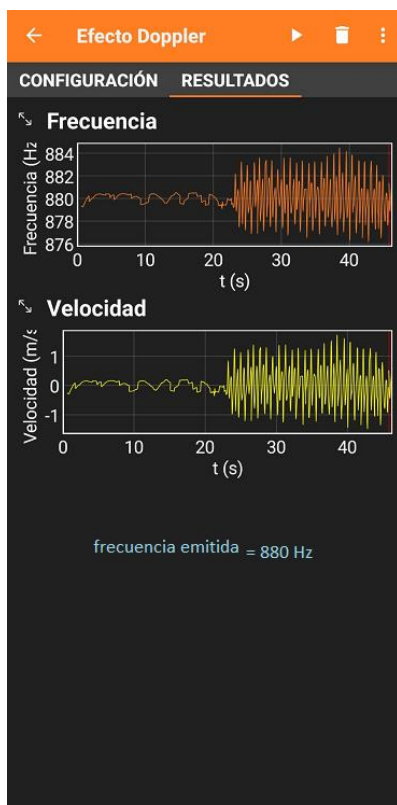
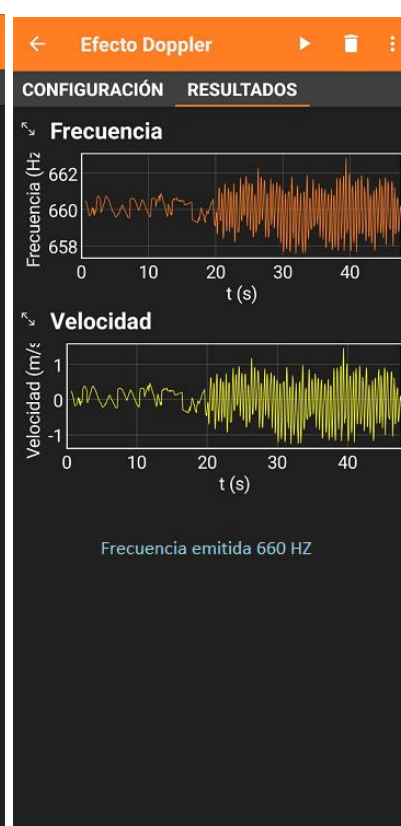
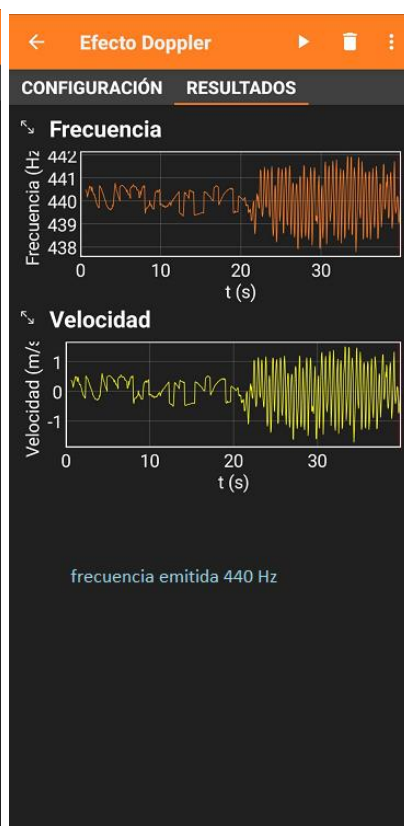
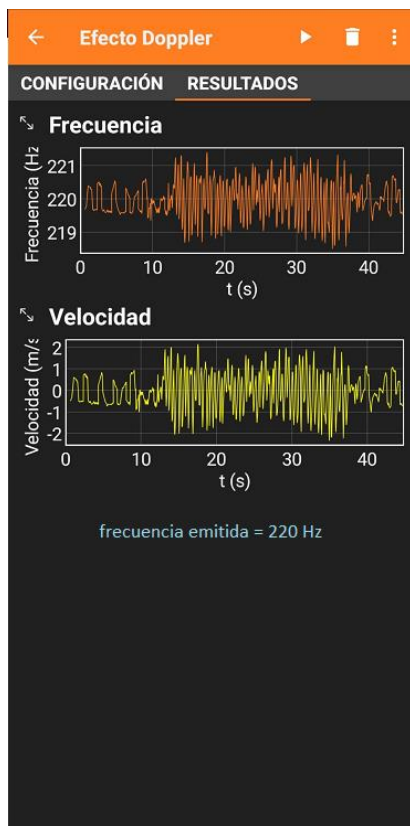
$$v'_{\text{acerc}} = v \cdot \frac{1}{1 - \frac{v_F}{v}} = v \cdot \frac{v}{v - v_F}$$

- Cuando **el foco emisor se aleja con velocidad v_F del observador en reposo**, el observador percibe:

$$v'_{\text{alej}} = v \cdot \frac{1}{1 + \frac{v_F}{v}} = v \cdot \frac{v}{v + v_F}$$

Gráficas e interpretación

Hemos realizado esta experiencia para las frecuencias de 220 Hz, 440 Hz, 660 Hz, 880 Hz y 1000 Hz y phyphox nos ha devuelto estas gráficas:



En ellas podemos comprobar cómo durante los primeros segundos, la frecuencia oscila alrededor de la frecuencia emitida con una amplitud muy pequeña y pasado este tiempo, cuando ya hemos comenzado a mover el altavoz, la frecuencia ha oscilado llegando a máximos y mínimos bastante distanciados de la frecuencia emitida. También podemos comprobar que a mayor frecuencia emitida, mayores diferencias hay entre la frecuencia observada y la emitida.

Datos y resultados.

Aunque generalmente este apartado se vería antes que el de gráficas, en este caso lo vamos a ver ahora para corroborar lo que realmente hemos visto. De los datos exportados por el programa, hemos seleccionado un intervalo de aproximadamente 2 segundos para cada medida y hemos añadido una columna de fórmula para comprobar que esta app de phyphox realmente cumple con las leyes de la física.

Frecuencia emitida = 220 Hz			
Time (s)	Frequency (Hz)	Speed (m/s)	Fórmula
30,00315	220,3204	0,494489	220,3204
30,05315	220,5398	0,832176	220,5398
30,10315	220,5597	0,862862	220,5597
30,15315	220,2298	0,354842	220,2298
30,20315	219,2597	-1,14802	219,2597
30,25316	218,9641	-1,60855	218,9641
30,31815	219,313	-1,06513	219,313
30,36815	219,4786	-0,80764	219,4786
30,41815	219,8889	-0,17181	219,8889
30,46815	220,2833	0,437292	220,2833
30,51816	220,7685	1,183479	220,7685
30,56816	220,7223	1,112575	220,7223
30,61816	220,0497	0,076718	220,0497

30,66816	219,2463	-1,16883	219,2463
30,71816	219,0263	-1,51147	219,0263
30,76816	219,1607	-1,30211	219,1607
30,81816	219,3654	-0,98351	219,3654
30,93297	220,7599	1,17042	220,7599
30,98297	221,0042	1,544926	221,0042

Frecuencia emitida = 440 Hz			
Time (s)	Frequency (Hz)	Speed (m/s)	Formula
25,0285	440,6865	0,529656	440,6865
25,0785	441,1907	0,917623	441,1907
25,1285	441,3891	1,069991	441,3891
25,18542	441,0887	0,839193	441,0887
25,23542	440,2417	0,186639	440,2417
25,28542	438,5943	-1,08967	438,5943
25,33543	438,6327	-1,05985	438,6327
25,38543	439,5129	-0,37683	439,5129
25,43543	440,1275	0,098531	440,1275
25,48543	440,6226	0,480389	440,6226
25,53543	441,1242	0,866491	441,1242
25,58543	441,4626	1,126471	441,4626
25,63543	441,3205	1,017318	441,3205
25,68543	440,4706	0,363281	440,4706
25,73543	439,1436	-0,66302	439,1436
25,82437	438,9349	-0,82506	438,9349

25,87437	439,3936	-0,46924	439,3936
25,92437	439,9954	-0,00355	439,9954
25,97437	440,6162	0,475453	440,6162

Frecuencia emitida = 660 Hz			
Time (s)	Frequency (Hz)	Speed (m/s)	Formula
32,01323	658,880634	-0,57762284	658,880634
32,06324	659,71291	-0,14795897	659,71291
32,11324	660,799199	0,4112108	660,799199
32,14609	661,323187	0,68027799	661,323187
32,19609	661,090317	0,56075203	661,090317
32,24609	659,858937	-0,07268425	659,858937
32,29609	658,361438	-0,8462086	658,361438
32,34609	658,050044	-1,00749965	658,050044
32,39609	658,257075	-0,9002476	658,257075
32,44609	658,778995	-0,63016844	658,778995
32,49609	659,494734	-0,26048822	659,494734
32,54609	660,06807	0,03506258	660,06807
32,5961	660,552047	0,28415035	660,552047
32,6461	660,912943	0,46965455	660,912943
32,83855	658,270379	-0,89335825	658,270379
32,88855	658,137038	-0,96242417	658,137038
32,93855	657,589265	-1,24644683	657,589265
32,98855	657,986652	-1,04035301	657,986652
33,03855	659,241112	-0,39139209	659,241112

Frecuencia emitida = 880 Hz			
Time (s)	Frequency (Hz)	Speed (m/s)	Formula
30,01177	881,7088	0,658932	881,7088
30,06177	881,3575	0,523669	881,3575
30,11178	878,8121	-0,45958	878,8121
30,16178	877,3749	-1,01729	877,3749
30,21178	877,729	-0,8797	877,729
30,26178	878,7021	-0,50219	878,7021
30,31178	879,5565	-0,17145	879,5565
30,36178	880,4959	0,191479	880,4959
30,33757	882,0748	0,799748	882,0748
30,38757	883,5741	1,375317	883,5741
30,43757	882,2729	0,875893	882,2729
30,48757	878,7663	-0,47734	878,7663
30,53757	878,6844	-0,50906	878,6844
30,58758	879,5459	-0,17554	879,5459
30,63758	879,9926	-0,00285	879,9926
30,68758	880,4751	0,183461	880,4751
30,73758	881,0202	0,393728	881,0202
30,78758	881,2412	0,478877	881,2412
30,83758	881,197	0,461847	881,197
30,88758	880,6471	0,249842	880,6471
30,95132	876,7478	-1,26119	876,7478
31,00132	877,0972	-1,12526	877,0972

Frecuencia emitida = 1100 Hz			
Time (s)	Frequency (Hz)	Speed (m/s)	Formula
30,01233	1101,506	0,464786	1101,50578
30,06233	1102,369	0,730548	1102,36863
30,11233	1102,449	0,755215	1102,44878
30,057	1097,743	-0,69916	1097,74266
30,107	1096,697	-1,02411	1096,69666
30,15701	1096,864	-0,97194	1096,86445
30,20701	1099,048	-0,29458	1099,04778
30,25701	1100,213	0,065833	1100,21303
30,30701	1101,55	0,478324	1101,5497
30,35701	1104,059	1,25008	1104,0593
30,40701	1103,632	1,118855	1103,63177
30,45701	1102,192	0,676091	1102,19171
30,50701	1096,44	-1,10409	1096,4395
30,55701	1096,891	-0,96361	1096,89125
30,6656	1098,531	-0,45454	1098,5314
30,7156	1099,249	-0,23235	1099,2488
30,7656	1100,536	0,165569	1100,53592
30,8156	1101,914	0,590455	1101,91362
30,86561	1102,736	0,843536	1102,73588
30,91561	1103,141	0,968025	1103,14079
30,96561	1099,742	-0,07969	1099,74226
31,01561	1096,915	-0,95634	1096,91465

Conclusiones

El experimento realizado ha permitido comprobar y analizar el efecto Doppler en diferentes escenarios de frecuencia emitida por una fuente en movimiento respecto a un observador en reposo. Las principales conclusiones obtenidas con este experimento son:

- Verificación del efecto Doppler: Los resultados obtenidos confirman la teoría del efecto Doppler. Las variaciones en las frecuencias observadas concuerdan con las fórmulas teóricas, demostrando que la frecuencia percibida por un observador cambia cuando la fuente emisora se mueve hacia o se aleja de él.
- Frecuencia y velocidad: Se ha observado que las frecuencias percibidas varían en función de la velocidad de la fuente emisora, que a su vez varía porque está oscilando. Cuando la fuente se mueve hacia el observador, la frecuencia percibida es mayor que la frecuencia emitida. Por el contrario, cuando la fuente se aleja, la frecuencia percibida es menor.
- Consistencia de las mediciones: Las gráficas obtenidas y los datos exportados por la aplicación Phyphox muestran una consistencia notable con las leyes de la física, corroborando la precisión y fiabilidad del equipo y las aplicaciones utilizadas.
- Diferencias entre frecuencias emitidas y percibidas: Las diferencias entre las frecuencias emitidas y percibidas se hicieron más evidentes a medida que la frecuencia emitida aumentaba. Este comportamiento es consistente con la teoría del efecto Doppler, que predice mayores desviaciones de frecuencia a mayores frecuencias emitidas.
- Utilidad de las aplicaciones: Las aplicaciones utilizadas (Phyphox y el generador de frecuencias) resultaron ser herramientas efectivas para la medición y análisis del efecto Doppler, proporcionando datos precisos y facilitando la interpretación de los resultados a través de gráficas claras y comprensibles.

En resumen, el experimento ha sido exitoso en demostrar el efecto Doppler y en validar la teoría mediante la obtención de datos precisos y coherentes.